



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA  
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA  
DE MINAS Y ENERGÍA



Trabajo Fin de Grado

# ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA VIVIENDA EFICIENTE ENERGÉTICAMENTE

Techno-economic study of an energy efficient house

Para acceder al título de:

Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos

Autor: Miguel Ortiz Jaén

Directora: Raquel Martínez Torre

Convocatoria: Noviembre 2021



## **AGRADECIMIENTOS**

Tras un largo rato sentado delante del ordenador, veo que es difícil tratar de expresar lo que han sido para mí estos últimos cuatro años. La universidad ha sido un periodo de cambio, dudas y miedos, pero también de experiencias y personas inolvidables, que al menos yo, no cambiaría por nada.

En primer lugar, quiero agradecer a Belén y Jaime el inmenso apoyo y cariño que me han dado todos estos años, por todos los viajes, risas y momentos compartidos. Soy muy afortunado de haberos conocido y de que estéis tan presentes en mi vida. Os quiero mucho.

También quiero agradecer a Nicolás y Pablo el aguante que han tenido conmigo desde hace tantos años. Gracias por todos esos empujones a tiempo, por tantas aventuras vividas y por vuestra amistad incondicional a lo largo de tanto tiempo.

No me puedo olvidar de mi familia, de mis padres y mis hermanos, sobre todo. Por la comprensión y apoyo que me han dado siempre, y por animarme y calmarme cuando pierdo los estribos.

Por último, quiero agradecerle a mi tutora, Raquel, toda la ayuda que ha ofrecido para completar el trabajo.



## RESUMEN

El sector residencial en España es el tercer mayor consumidor de energía, detrás de la industria y el transporte. Teniendo en cuenta que se trata de un sector en constante crecimiento, es imprescindible implementar en el mismo el concepto de eficiencia energética y de esa forma reducir el consumo.

La búsqueda de un mayor ahorro energético cobra aún más importancia en el escenario de crisis climática en el que nos encontramos actualmente. Políticas nacionales e internacionales buscan cada vez más incluir entre sus planes a medio plazo la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la reducción del consumo energético, medidas cuya solución se encuentra en una mejora de la eficiencia.

Mediante el presente trabajo se pretende mostrar las diferencias existentes entre una casa tipo, que cumpla con la normativa vigente relativa a la edificación española, y una casa con las mismas características que maximice su eficiencia. De esta forma se podrán analizar y comparar las diferencias existentes entre los consumos y ahorros, tanto energéticos como económicos.

## ABSTRACT

The residential sector in Spain is the third largest energy consumer, after industry and transport. Given that this is a sector in constant growth, it is essential to implement the concept of energy efficiency in this sector and thus reduce consumption.

The quest for greater energy savings is even more important in the current climate crisis. National and international policies are increasingly seeking to include the reduction of CO<sub>2</sub> emissions and the reduction of energy consumption in their medium-term plans, measures whose solution lies in improved efficiency.

This paper aims to show the differences between a typical house, which complies with current Spanish building regulations, and a house with the same characteristics that maximises its efficiency. In this way, it will be possible to analyse and compare the existing differences in consumption and savings, both energy and economic.

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>2. ALCANCE Y OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>3. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 ETIQUETA ENERGÉTICA.....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Actualizaciones.....	13
<b>3.2 ENVOLVENTES.....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Normativa.....	16
<b>3.3 VENTANAS.....</b>	<b>17</b>
3.3.1 Marco.....	17
3.3.2 Vidrio.....	18
3.3.3 Normativa.....	20
<b>3.4 CLIMATIZACIÓN.....</b>	<b>21</b>
3.4.1 Bomba de calor.....	21
3.4.1.1 Principio de funcionamiento.....	21
3.4.2 Aerotermia.....	22
3.4.3 Geotermia.....	23
3.4.3.1 Sistemas de aprovechamiento de energía geotérmica.....	24
3.4.4 Normativa.....	26
<b>3.5 CALEFACCIÓN.....</b>	<b>26</b>
3.5.1 Caldera.....	26
3.5.1.1 Bombas.....	27
3.5.1.2 Tuberías.....	27
3.5.1.3 Terminales.....	27
3.5.1.4 Calefacción individual.....	27
3.5.2 Suelo Radiante.....	27
<b>3.6 ELECTRODOMÉSTICOS.....</b>	<b>28</b>
3.6.1 Etiqueta Energética.....	30

<b>3.7 ILUMINACIÓN.....</b>	<b>31</b>
3.7.1 Bombillas incandescentes.....	31
3.7.2 Lámparas fluorescentes.....	31
3.7.3 Ledes.....	32
<b>3.8 SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE.....</b>	<b>32</b>
3.8.1 Autoconsumo.....	33
3.8.1.1 Ampere Energy.....	34
3.8.1.2 Tesla Powerwall.....	35
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 ANÁLISIS DEL CONSUMO DE UNA VIVIENDA TIPO.....</b>	<b>37</b>
4.1.1 Definición.....	37
4.1.2 Limitación del consumo energético.....	38
4.1.3 Condiciones para el control de la demanda energética.....	39
4.1.3.1 Transmitancia global de la envolvente térmica.....	40
4.1.3.2 Control solar.....	41
4.1.3.3 Permeabilidad de la envolvente térmica.....	43
4.1.4 Condiciones de las instalaciones térmicas.....	45
4.1.4.1 IT 1 Diseño y dimensionado.....	45
4.1.4.2 Eficiencia energética y energías renovables y residuales.....	47
4.1.5 Condiciones de las instalaciones de iluminación.....	51
4.1.6 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS...52	
4.1.7 Generación mínima de energía eléctrica.....	53
<b>4.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE CADA UNA DE LAS SOLUCIONES QUE SE PLANTEAN.....</b>	<b>53</b>
4.2.1 Estándares Passivhaus.....	53
4.2.2 Condiciones para el control de la demanda energética.....	55
4.2.2.1 Sistemas de almacenamiento térmico en paredes.....	57
4.2.2.2 Materiales de cambio de fase para mejorar la eficiencia.....	59
4.2.2.3 Aplicación de los PCM en la edificación.....	61



4.2.2.4 Sistemas de materiales de cambio de fase.....	62
4.2.2.5 Ventanas.....	67
4.2.2.6 Puentes térmicos.....	69
4.2.3 Condiciones de las instalaciones térmicas.....	70
4.2.3.1 Aerotermia.....	70
4.2.3.2 Geotermia.....	72
4.2.4 Condiciones de las instalaciones de iluminación.....	74
4.2.5 Electrodomésticos.....	75
4.2.6 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS...	77
4.2.6.1 Captador solar térmico.....	77
4.2.7 Autoconsumo.....	80
4.2.7.1 Instalación solar fotovoltaica.....	80
4.2.7.2 Elementos de una instalación fotovoltaica.....	82
4.2.7.3 Dimensionamiento.....	84
4.2.7.4 Compensación simplificada de excedentes.....	87
<b>4.3 PROGRAMAS DE CALIFICIÓN ENERGÉTICA.....</b>	<b>88</b>
4.3.1 Herramienta Lider Calener.....	88
4.3.2 Herramienta CE3X.....	88
<b>4.4 ANÁLISIS DE AMBAS SOLUCIONES MEDIANTE SOFTWARE.....</b>	<b>89</b>
4.4.1 Introducción de datos.....	89
4.4.2 Obtención de la calificación.....	91
<b>4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>92</b>
4.5.1 TIR y VAN.....	92
<b>4.6 SELECCIÓN DE TARIFA.....</b>	<b>93</b>
4.6.1 Consumo de la vivienda por horas.....	95
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>98</b>
<b>5.1 DEFINICIÓN DE UNA VIVIENDA TIPO.....</b>	<b>98</b>
5.1.1 Localización.....	98



5.1.2 Geometría.....	99
5.1.3 Análisis del consumo real.....	99
5.1.3.1 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS.....	100
5.1.3.2 Generación mínima de energía eléctrica.....	102
<b>5.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE CADA UNA DE LAS SOLUCIONES QUE SE PLANTEAN.....</b>	<b>102</b>
5.2.1 Condiciones para el control de la demanda energética.....	102
5.2.2 Ventanas.....	103
5.2.3 Condiciones de las instalaciones térmicas.....	103
5.2.4 Electrodomésticos.....	103
5.2.4.1 Frigorífico.....	103
5.2.4.2 Lavadora.....	106
5.2.4.3 Lavavajillas.....	106
5.2.5 Autoconsumo.....	107
5.2.5.1 Dimensionamiento.....	107
<b>5.3 SELECCIÓN DE TARIFA.....</b>	<b>112</b>
<b>5.4 ANÁLISIS DE AMBAS SOLUCIONES MEDIANTE SOFTWARE.....</b>	<b>113</b>
5.4.1 Vivienda tipo.....	113
5.4.2 Vivienda eficiente.....	116
<b>5.5 ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>117</b>
5.5.1 Aislamiento térmico.....	117
5.5.2 Instalación fotovoltaica.....	118
5.5.3 Instalación de climatización y calefacción.....	119
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>122</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>123</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

El concepto de eficiencia energética está en auge, y actualmente se ha convertido en una prioridad en las agendas de los gobiernos alrededor del mundo. Las principales fuentes de energía son de carácter no renovable o limitado, y tienen un impacto negativo en el medio ambiente. Por otro lado, como consecuencia de su uso son cada vez más escasas, lo cual las encarece. Por todas estas razones, los consumidores están cada vez más interesados en la búsqueda de una mayor sostenibilidad y ahorro energético y económico.

Desde un punto de vista teórico, la eficiencia se entiende como la relación existente entre la energía útil u obtenida por un sistema y la energía total suministrada al mismo. La eficiencia energética, por tanto, tiene como objetivo reducir u optimizar el consumo de energía utilizada para proporcionar bienes y servicios.

Alcanzar una mayor eficiencia energética tiene muchas ventajas tanto para las industrias como para el consumidor individual. Destacan entre otras la rebaja en los costes de la factura eléctrica, reducción en el impacto medioambiental y la mejora en la calidad de las instalaciones eléctricas.

Un edificio energéticamente eficiente es aquel que presenta unas características en su diseño que le permiten ahorrar y hacer un uso racional de la energía. Esto se puede llevar a cabo mediante una menor utilización de fuentes de energía convencionales (no renovables), mejoras en el aislamiento, un estudio de la orientación del inmueble y una modernización en los sistemas energéticos.

En la actualidad el consumo energético de España, como el del resto del mundo, se mantiene gracias a las fuentes de energía fósiles, concretamente petróleo y gas natural. Históricamente la industria ha sido el sector que más energía ha consumido, siendo sustituido por el transporte con el paso del tiempo. Sin embargo, desde la década de los años noventa, el consumo energético de los hogares se ha incrementado hasta tres veces por encima del aumento de la población, principalmente por un aumento o actualización en el equipamiento doméstico. Actualmente es el tercer sector que más energía consume. En el año 2015 las viviendas supusieron un 18,5% del consumo energético nacional frente al 42,7% del sector transporte y el 23,5% del sector industrial [1].



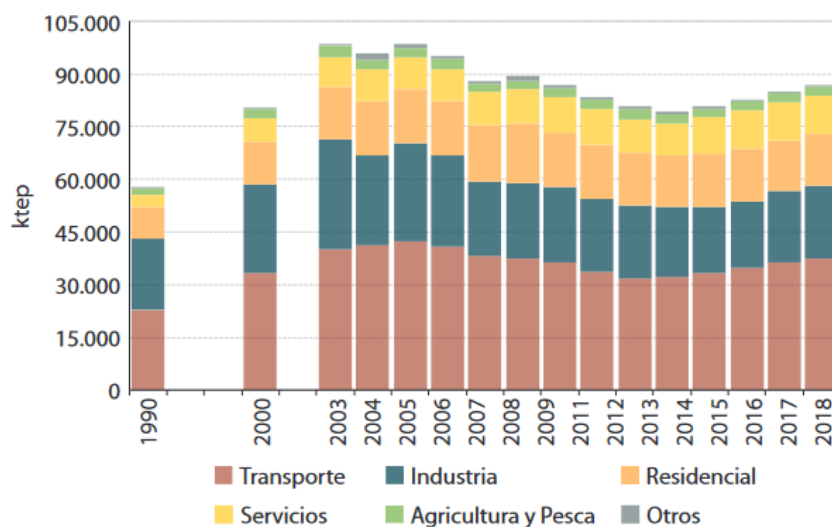


Figura 1.1. Evolución del consumo energético por sectores, 1990-2018. (Fuente: MITECO/IDAE)

Los consumos energéticos dentro de los distintos sectores son muy variados y el sector residencial no es una excepción. Mediante el uso de distintas fuentes de energía se tienen que poder satisfacer todas las necesidades que surgen dentro de una vivienda, como calefacción, iluminación, uso de electrodomésticos o **agua caliente sanitaria (ACS)**. En este sentido se ha sufrido un gran cambio en los consumos energéticos, ya que con el paso del tiempo ha aumentado el uso de electricidad, en detrimento de otros productos como gas natural o petróleo.

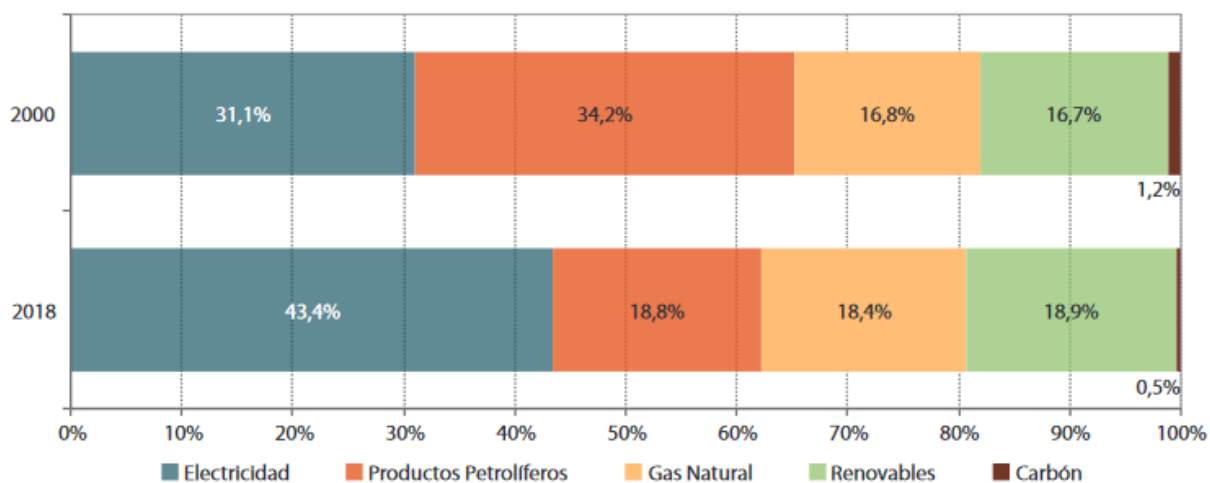


Figura 1.2. Evolución del consumo energético por fuentes energéticas, 2000-2018. (Fuente: MITECO/IDAE)

En la figura 1.2 se puede apreciar el porcentaje de energía consumida en función de la fuente energética. Un aspecto importante a tener en cuenta es el uso que se le da a esa energía. Los datos indican que el mayor consumo energético dentro de la vivienda en España se debe a la **calefacción** con un 42,2%, al uso de **electrodomésticos**, 26,9%, y al **ACS**, con un 17,3%. Atendiendo a la estructura del consumo eléctrico los datos varían ya que encontramos el mayor consumo en los electrodomésticos, iluminación y cocina respectivamente.

La demanda energética en los hogares ha evolucionado de forma proporcional a la capacidad económica. La crisis de 2008 supuso una disminución importante del poder adquisitivo y por lo tanto del consumo energético de los hogares. Sin embargo, esto no ocurre con el precio de los productos energéticos como la electricidad o el gas, que como se aprecia en la figura 1.3 ha continuado en aumento desde 2008.

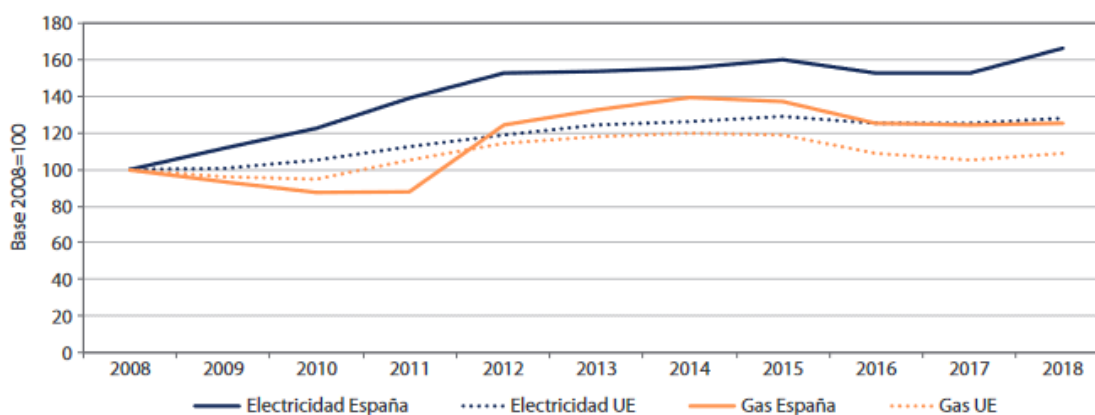


Figura 1.3. Precios energéticos de los hogares en España, 2008-2018. (Fuente: MITECO/IDAE)

De esta forma se estima que el hogar medio español consume 0,852 **toneladas equivalentes de petróleo** (tep) de energía al año. Esto supone un consumo de cerca de 3500kWh al año de electricidad, que se traduce en un gasto de unos 400€ anuales. Respecto al resto de fuentes energéticas se calcula que el gasto medio anual por hogar es de 990€ [2].

A través del análisis del consumo energético de las viviendas se aprecia con claridad la magnitud del problema de la eficiencia energética y los inconvenientes que una mala eficiencia supone para la economía de los hogares. Apostar por una mayor eficiencia energética en la vivienda no solo implica un ahorro considerable sino también un paso adelante en el cuidado del planeta, y es que otro aspecto a considerar son las emisiones de **Gases de Efecto Invernadero** (GEI) relacionadas con el sector residencial.

Como se ha mencionado, el consumo energético de España se sostiene gracias a fuentes de energía no renovables y altamente contaminantes. Es por ese motivo que se pretende disminuir su uso apostando por una mejora en la eficiencia.



Las políticas energéticas y climáticas en España están determinadas por la **Unión Europea** (UE), que responde a los requerimientos del **Acuerdo de París** del año 2015.

Este acuerdo llegó a España dos años más tarde, y su objetivo, así como el de otros tratados es facilitar y actualizar el cumplimiento de los objetivos propuestos por la UE en materia energética y que se recogen a continuación:

- 40% de reducción de emisiones de GEI respecto a 1990.
- 32% de renovables sobre el consumo total de energía total bruta.
- 32,5% de mejora de la eficiencia energética.
- 15% de interconexión eléctrica de los estados miembros.

Cabe destacar que la UE actualizó en 2018 su visión estratégica a largo plazo con el objetivo de “alcanzar una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050”. Es por ello que la UE demandó a cada estado miembro la elaboración de un **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030** (PNIEC).

En el caso de España uno de los objetivos fundamentales es precisamente la eficiencia energética. Las medidas contempladas en el PNIEC estiman una mejora del 39,5% de la eficiencia para el 2030, lo que supone un incremento de las condiciones establecidas por la normativa europea. Como resultado de todas las medidas contempladas en el plan, los consumos de energía final se reducirán a una tasa del 1,1% anual entre 2017 y 2030, lo que supone unas 74Mtep (860,62 MWh) a lo largo de todo el periodo [3].

La energía empleada en las viviendas supone un porcentaje muy elevado de la energía final consumida en España. Además, se ha visto como ese consumo se concentra en tres principales elementos: calefacción, electrodomésticos y ACS, los cuales son susceptibles de una mejora en su eficiencia, y por lo tanto de un mayor ahorro. Asimismo, los principales objetivos a largo plazo de la UE y del país, se concentran en una reducción del consumo energético mediante el aumento de la eficiencia, y una disminución de las emisiones en el actual contexto de crisis climática. Es por ello que la búsqueda de una mayor eficiencia energética se justifica; porque el consumo de energía de una vivienda tiene un gran impacto en la calidad de vida de las personas y en el presupuesto de las familias.

Alcanzar la eficiencia energética deseada en cada caso es muy complejo ya que depende de muchos factores. Es por ello que, para poder llevar a cabo un estudio correcto, este se tendrá que basar en el diseño de la vivienda, para poder así modificar todos los aspectos a tener en cuenta desde el principio.



## 2. ALCANCE Y OBJETIVOS

A lo largo de nuestra vida vamos a pasar una gran parte del tiempo en casa. Es un lugar de descanso, desconexión, ocio y reunión. Tras la reciente irrupción del covid en la sociedad la vivienda ha adquirido más importancia como lugar de trabajo, y es por todos estos motivos que buscaremos siempre las mejores condiciones y confort dentro de nuestro domicilio. Para poder cubrir todas las necesidades básicas de las personas que la habiten, una vivienda consume energía de diversas fuentes que se traducen en un desembolso mensual variable.

Siendo el sector residencial el tercer mayor consumidor de energía final en España es imprescindible introducir en el sector el concepto de eficiencia energética. Además, es necesario encontrar el equilibrio entre lo que una persona merece o necesita y lo que es capaz de permitirse, y es ahí donde adquiere importancia el concepto de eficiencia energética.

Por estos motivos el objetivo principal del trabajo es el siguiente:

- Mostrar las diferencias existentes en términos de ahorro energético y económico entre una vivienda estándar, construida acorde a los requerimientos del Código Técnico de la Edificación, y una vivienda con las mismas características que consiga la mayor eficiencia energética posible.

Para poder lograr este objetivo se plantean una serie de objetivos secundarios, que darán una continuidad desde el primer paso, hasta el objetivo final.

- Destacar la relevancia que tiene la eficiencia energética en nuestra vida diaria, dentro y fuera de las viviendas, así como los beneficios económicos, medioambientales y sanitarios que esta ofrece.
- Poner en conocimiento la normativa existente en relación a la eficiencia energética de la vivienda en distintas partes de la misma.
- Reconocer la existencia de las distintas políticas energéticas nacionales e internacionales en relación al cuidado del medio ambiente.
- Distinguir la etiqueta energética de nuestros dispositivos y conocer la utilidad de la misma.

### 3. ESTADO DEL ARTE

#### 3.1 ETIQUETA ENERGÉTICA

La etiqueta energética es un adhesivo regulado por la Unión Europea que señala la calificación energética de un electrodoméstico o edificio según una escala que evalúa su consumo. Esta etiqueta se creó en el año 1992 mediante la directiva 92/75/EC con el objetivo de facilitar la información al consumidor de manera que pudieran elegir aquellos aparatos con mejor rendimiento energético.

Actualmente es un distintivo obligatorio en frigoríficos, congeladores, lavadoras, secadoras, lavavajillas, hornos eléctricos, televisores y aparatos de aire acondicionado dentro de los países del ámbito económico de la UE. Este deberá estar situado en una parte visible del producto y en cualquier elemento publicitario como folletos, exposiciones, catálogos, etc.

Las etiquetas energéticas se dividen en al menos cuatro categorías:

- Detalles del aparato: aplicación y detalles específicos como el modelo y materiales.
- Clasificación energética: un color asociado a una letra que ofrece una idea del consumo eléctrico del aparato.
- Consumo, eficiencia, capacidad, etc.: esta sección proporciona información que depende del uso del aparato.
- Ruido: el ruido que causa el aparato, medido en decibelios.



Figura 3.1. Ejemplo de etiqueta energética de lavadora. (Fuente: OCU)

Con el tiempo la normativa se ha ido actualizando de manera que cada vez más elementos disponen de ella, como por ejemplo neumáticos, bombillas o automóviles.

### 3.1.1 Actualizaciones

La Directiva 92/75/EC fue sustituida por la Directiva 2010/30/EU y entró en vigor el 31 de julio de 2011, sin embargo, esta última actualización quedó obsoleta en 2017 con el Reglamento UE 2017/1369. En esta última etiqueta se han redefinido los límites de consumo para poder entrar dentro de una clase energética con el objetivo de simplificar la lectura.

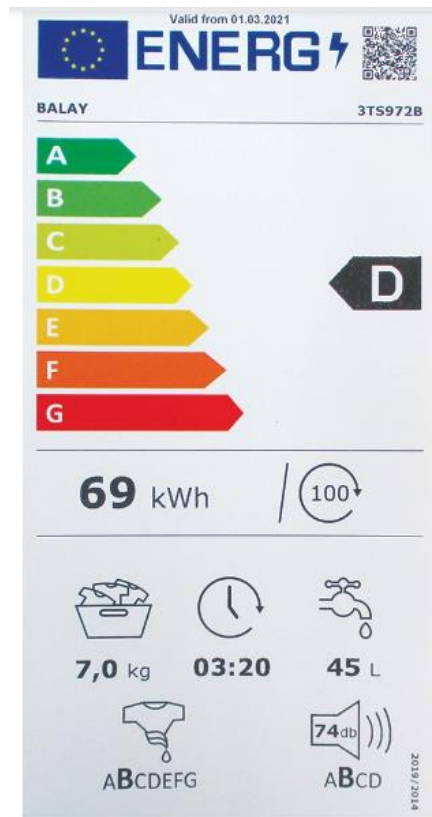


Figura 3.2. Modelo nuevo de etiqueta. (Fuente: OCU)

Las novedades que incluye esta nueva etiqueta son las siguientes:

- Clases: Siguen existiendo un máximo de siete clases, ahora de la A a la G donde el verde oscuro indica un producto más eficiente y el rojo una menor eficiencia.
- Código QR: Se añade un código QR que ofrece más información en materia de eficiencia sobre el producto.
- Límites más exigentes: Todos los aparatos quedarán una clase energética más baja que la que poseían al ser más estrictos los valores límite.

### 3.2 ENVOLVENTES

El término envolvente se utiliza en el ámbito de la construcción para designar a la superficie envolvente construida que separa el interior del exterior del edificio, y actúa como filtro de las condiciones del exterior. Evidentemente las condiciones de temperatura, humedad o presión del exterior rara vez coinciden con las deseadas para el interior, y por lo tanto son incompatibles con el bienestar de las personas. De esta forma surge la necesidad de instalar dicha capa que evite la entrada de las condiciones perjudiciales del exterior y la fuga de las del interior.

La utilización de un producto aislante térmico en las envolventes reduce la transmisión de calor entre el edificio y el exterior. Su misión es impedir dicha transferencia del interior al exterior del edificio en invierno y al contrario en verano, para evitar el uso de energía innecesaria en la climatización del espacio habitado.

Con la implantación del **Código Técnico de la Edificación (CTE)** en 2006, se impuso la obligatoriedad de instalar, ya sea en nueva construcción o mediante reformas, un nivel de aislamiento suficiente para evitar la pérdida de energía en un edificio. La estrategia a largo plazo para la renovación de edificios prevista en el artículo 4 de la Directiva de Eficiencia Energética pretende además llevar a cabo una mejora de la eficiencia de las viviendas mediante la mejora de la envolvente térmica a lo largo de la década 2020-2030 en un total de 1.200.000 viviendas.

Asimismo, el PNIEC prioriza las inversiones sobre la envolvente térmica sobre las mejoras de las instalaciones térmicas, con el criterio de disminuir la demanda térmica evitando el sobredimensionamiento de equipos de calefacción o climatización.

El nivel de aislamiento de una estancia se mide principalmente mediante cuatro factores, siendo el principal la **transmitancia térmica ( $W/m^2K$ )**. Este expresa la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, y su valor varía en función de la provincia y su altitud respecto del nivel del mar. Cantabria por ejemplo ocupa las zonas C, D y E.

Los otros valores a tener en cuenta son: el del **coeficiente global de transmisión de calor ( $W/m^2K$ )**, el parámetro de control solar ( **$kWh/m^2 \cdot mes$** ) y la permeabilidad al aire de la envolvente térmica ( **$m^3/h \cdot m^2$** ).

Cuando hablamos de aislamiento de una estancia no sólo hay que tener en cuenta los cerramientos entre el interior y exterior, sino también los que existen entre las distintas estancias interiores. Todos los valores mínimos permitidos vienen recogidos en el DB-HE del CTE y serán proporcionados y comentados más adelante.



Respecto a la selección del material aislante existe una gran variedad de oferta en este sentido. Estos materiales se pueden clasificar en función de su composición o de su formato, y atendiendo al formato podemos encontrarlos en panel, rollo, a granel o en espuma [4].

ORIGEN	TIPO	Conductividad Térmica	
		(W/m·K)	
		Desde	Hasta
MINERAL	Lana de Roca	0,030	0,050
	Lana de Vidrio	0,030	0,050
	Perlita Expandida (EPB)	0,040	0,060
	Vidrio Celular (CG)	0,035	0,055
SINTÉTICO	Poliéstereno Expandido (EPS)	0,029	0,053
	Poliéstereno Extruido (XPS)	0,025	0,040
	Poliuretano (PUR) o Poliisocianurato	0,019	0,040
ANIMAL	Lana de Oveja (SHW)	0,035	0,050
VEGETAL	Algodón (CO)	0,029	0,040
	Cáñamo (HM)	0,037	0,045
	Celulosa (CL)	0,034	0,069
	Corcho (ICB)	0,034	0,100
	Fibras de Coco (CF)	0,043	0,047
	Lino (FLX)	0,037	0,047
	Virutas de Madera (WF)	0,038	0,107

Figura 3.3. Conductividad térmica de diferentes materiales aislantes. (Fuente: CTE)

Para obtener un aislamiento térmico o acústico de calidad es necesario aplicar más de una capa de material a los muros, ya sean de fachada o entre espacios habitados. De hecho, la mayoría de fachadas cuentan con una sucesión de hasta cinco capas para conseguir reducir el impacto del ruido, humedad, vapor, infiltraciones y sobre todo pérdidas de calor.

Como norma general las capas de los distintos materiales que conforman el cerramiento se expresan del interior hacia el exterior, aunque puede ser al contrario. Un ejemplo de sucesión de capas frecuente en Cantabria puede ser el siguiente:

- Material lucido para el interior de la estancia
- Cámara de aire
- Membrana Barrera de vapor
- Aislamiento térmico
- Entramado de madera
- Segunda cámara de aire (no tan habitual)
- Acabado exterior





Los dos elementos más reseñables entre los mencionados son la cámara de aire y la barrera de vapor.

Al contrario de lo que ocurre con las ventanas, la cámara de aire situada entre los tabiques interior y exterior no tiene como objetivo el aislamiento térmico. El aire que se encuentra entre las distintas hojas de las ventanas está en un ambiente hermético, estanco y sin presencia de humedad, sin embargo, esto no suele ocurrir así en las cámaras de aire de las viviendas. La presencia de puentes térmicos en la envolvente puede hacer que entre aire frío a la cámara de aire, y que esta se convierta en un medio de transmisión de calor hacia el interior.

La cámara de aire por lo tanto está diseñada para albergar el aislamiento térmico pertinente y así conseguir una fachada multicapa con una gran eficiencia.

En cuanto a la barrera de vapor, esta se trata de una capa aislante contra el paso de vapor de agua y así ofrecer protección a estructuras y casas de madera. Mediante la regulación del paso de humedad en la estructura, se evita la formación de condensación intersticial dentro del aislante, ofreciendo así una mayor duración del aislamiento térmico y por lo tanto de la envolvente.

### 3.2.1 Normativa

Toda la normativa referida a las construcciones en España está recogida dentro del Código Técnico de la Edificación. Este es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad recogidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

El CTE también es un instrumento para la transposición de las directivas europeas. La Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios se hace a través del CTE mediante el **Documento Básico (DB) HE** de ahorro de energía. Este a su vez se completa con distintos documentos de apoyo como el DB-HE/1 o el DB-HE/3 relativos al cálculo de parámetros característicos de la envolvente o puentes térmicos respectivamente.

### 3.3 VENTANAS

Las ventanas de un edificio también forman parte de la envolvente térmica, siendo el elemento más vulnerable frente al intercambio térmico, de hecho, un tercio de las necesidades de calefacción originadas en la vivienda se deben a las pérdidas originadas por las ventanas. Al igual que con muros o suelos también poseen aislamiento térmico [5].

#### 3.3.1 Marco

La ventana se compone de marco y vidrio, y el marco supone entre el 25 y 30% de la superficie de la ventana, por lo que se considera un elemento importante desde el punto de vista de la eficiencia. En cuanto al aislamiento, las principales propiedades del marco son la **transmitancia total** del hueco y el **factor solar** del mismo. El factor solar se define como la relación entre la energía total que entra en el espacio a través de la ventana y la energía solar incidente.

Los marcos se pueden clasificar mediante distintos criterios, aunque el que predomina es el del material que lo conforma. Se puede encontrar mucha variedad en este aspecto, destacando los marcos metálicos, metálicos con rotura de puente térmico (RPT), de madera o de PVC:

**Marco metálico:** Normalmente son fabricados en aluminio o acero con diferentes acabados (lacados, anodizados, foliados imitando madera). Su participación en la superficie del hueco suele ser baja, en torno al 25%, con diferentes sistemas de cierre y apertura. Como valor comúnmente aceptado se considera una transmitancia térmica  $U = 5,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{OK}$

**Marco Metálico con RPT:** La rotura de puente térmico consiste en la incorporación de uno o varios elementos separadores de baja conductividad térmica entre los componentes interiores y exteriores de la carpintería logrando reducir el paso de energía y mejorando así el comportamiento térmico de la carpintería. Los valores de transmitancia térmica comúnmente aceptados son de  $U = 4,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{OK}$  hasta  $U = 2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{OK}$  en función de la anchura de los elementos.

**Marco de Madera:** Estos marcos cuentan con perfiles macizos de madera que por su naturaleza proporcionan unos niveles importantes de aislamiento térmico. Su conductividad es baja lo que favorece el aislamiento térmico. Sus principales limitaciones se encuentran en las operaciones de mantenimiento necesarias, aunque hoy existen en el mercado productos tratados que minimizan estos condicionantes. Los valores de transmitancia dependen de la densidad de la madera utilizada considerándose un intervalo de  $U = 2,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{OK}$  hasta  $U = 2,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{OK}$ .

**Marco de PVC:** Las carpinterías están formadas por perfiles normalmente huecos de PVC, ofreciendo un comportamiento térmico de primer orden. Los valores de transmitancia comúnmente aceptados son de  $U = 2,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{OK}$  hasta  $U = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{OK}$  en función del número de cámaras que tienen los marcos. Habitualmente son carpinterías cuya participación en el hueco es elevada, lo que unido a sus valores de aislamiento favorece el comportamiento del conjunto.

Tabla 3.1. Transmitancia térmica de distintos materiales de marcos. (Fuente: IDAE)

Material del perfil	Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> ·K)
Metálico	5,7
Metálico RPT (4mm ≤ d < 12 mm)	4 a 3,5
Metálico RPT d ≥ 12 mm	3,2 a 2,8
Metálico RPT d > 24 mm	2,5
Madera dura (ρ = 700 Kg/m <sup>3</sup> y 60 mm de espesor)	1,9
Madera blanda (ρ = 500 Kg/m <sup>3</sup> y 60 mm de espesor)	1,5
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2,2
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	1,8
Perfiles huecos de PVC (5 cámaras)	1,4 a 1,3
Perfiles huecos de PVC (6 cámaras)	1,1 a 1,0

### 3.3.2 Vidrio

El vidrio sin embargo es el elemento principal en el cerramiento, ocupando tres cuartas partes de la superficie del mismo. Su principal propiedad es la transparencia que permite elevados aportes de luz natural que contribuyen al confort de la vivienda, sin comprometer sus prestaciones de aislamiento térmico. Desde la perspectiva del aislamiento térmico, y al igual que con el marco las propiedades más importantes son la **transmitancia térmica** y el **factor solar**.

Los vidrios van a clasificarse en función de su configuración y número de capas, teniendo vidrios sencillos, aislantes, de baja emisividad, de control solar y triple acristalamiento.

**Vidrio sencillo (monolítico):** Son aquellos formados por una única hoja de vidrio y por dos o más hojas unidas entre sí, los conocidos como vidrios laminados. Este tipo de vidrios pueden ser tratados de muchas formas, pudiendo encontrar vidrios incoloros, de color, impresos o con protecciones mecánicas y térmicas, sin embargo, como valor de referencia podemos tomar una  $U = 5,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  y factor solar con valor en torno a 0,83.

**Unidad de Vidrio Aislante (UVA):** También se le conoce como doble acristalamiento o vidrio de cámara. Estos sistemas están formados por dos o más láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno o más espaciadores herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro. De esta forma lo que se consigue es encerrar una cámara de aire entre los paneles que limite el intercambio de calor por convección o conducción.

La capacidad aislante de este tipo de acristalamiento es mucho mayor, consiguiendo un valor de  $U = 3,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Un aumento en el espesor de la cámara de aire supondrá un mayor aislamiento térmico, no siendo así con el espesor de los vidrios.

Composición	4-6-4	4-10-4	4-12-4	4-16-6
U ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )	3,3	3,0	2,9	2,7

Figura 3.4. Transmitancia térmica en función del espesor de la cámara de aire. (Fuente: IDAE)

**Vidrio de baja emisividad:** Se trata de vidrios monolíticos sobre los que se ha depositado una capa de óxidos metálicos extremadamente fina para proporcionar al vidrio una capacidad de aislamiento térmico superior. Estos vidrios suelen instalarse en UVA para poder combinar las capacidades térmicas de ambos. De esta forma se alcanzan valores de  $U = 2,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  hasta  $U = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Al igual que con las UVAs un aumento en el grosor de la cámara entre los vidrios, aumentará su capacidad de aislamiento.

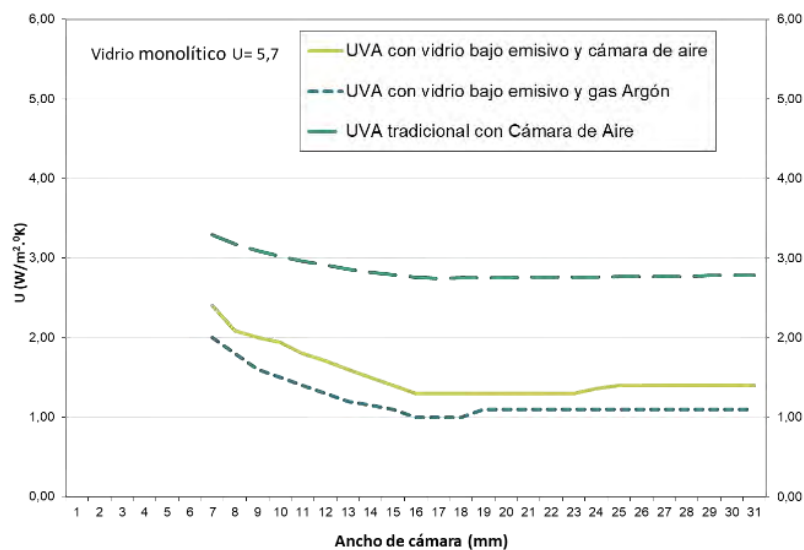


Figura 3.5. Relación entre la transmitancia con el ancho de cámara para distintas UVAs. (Fuente: IDAE)

**Vidrio de control solar:** Se pueden agrupar bajo este nombre distinto tipo de vidrios aunque los que se entienden de control solar son los llamados vidrios de capa. Estos acristalamientos son vidrios a los que se les aplica distintas capas que permiten una amplia gama de posibilidades y prestaciones térmicas.

Este tipo de vidrios suelen ser instalados en UVAs para aprovechar mejor las propiedades conjuntas aunque en muchos casos pueden ser utilizados como vidrios monoclonicos, priorizando la protección térmica frente a la radiación solar.

**Triple Acristalamiento:** Es una unidad de vidrio aislante formado por tres láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por dos espaciadores. Los triples acristalamientos deben de llevar asociados al menos dos vidrios de capa de baja emisividad para alcanzar el aislamiento óptimo.

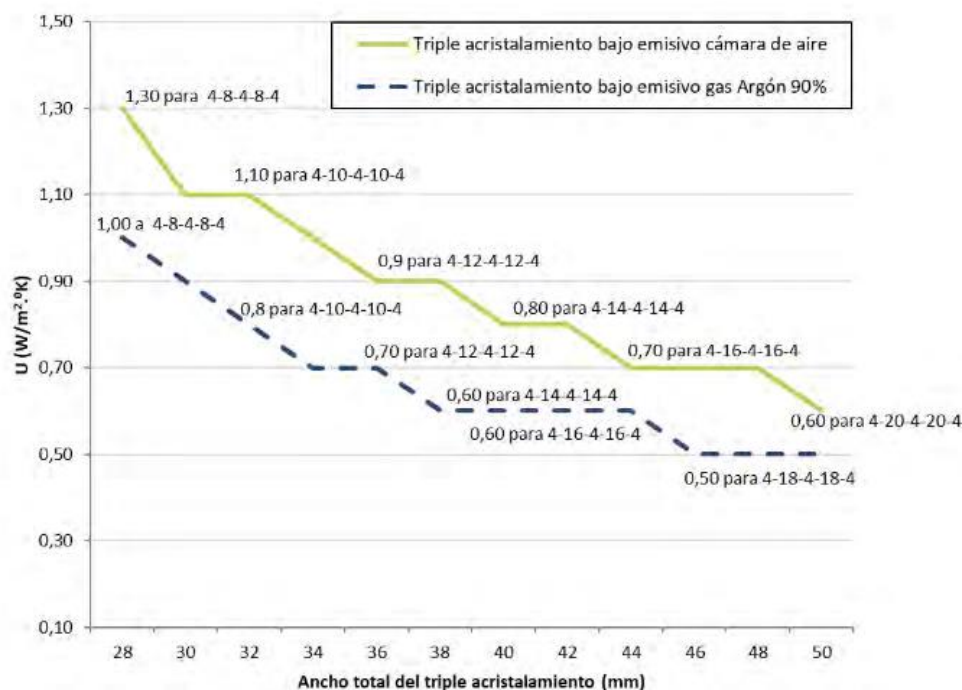


Figura 3.6. Relación entre la transmitancia con el ancho de cámara para triples acristalamientos con dos vidrios emisivos. (Fuente: IDAE)

Ya sea en un edificio de nueva construcción o llevando a cabo una rehabilitación una de las soluciones más eficaces para mejorar la eficiencia, tanto por los beneficios alcanzados como por la facilidad y rapidez de actuación, es la mejora del aislamiento térmico de los huecos. El coste de la operación es muy variable ya que existen muchas combinaciones, por lo que se tendrá que estudiar la mejor opción en cada caso.

### 3.3.3 Normativa

De nuevo la normativa de referencia en los acristalamientos viene recogida en el CTE DB-HE.



### 3.4 CLIMATIZACIÓN

Atendiendo a la definición del **Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE)** entendemos por climatización a la acción de dar a un espacio las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y presión necesarias para el bienestar de las personas y cosas.

En el caso de la climatización, las características del espacio a climatizar (materiales constructivos u orientación) influyen en la selección del equipo adecuado. Dentro de la climatización encontramos mucha variedad de sistemas disponibles en función de nuestras capacidades

#### 3.4.1 Bomba de calor

La bomba de calor es la máquina térmica principal cuando hablamos de climatización ya que es capaz de conseguir la temperatura deseada en cualquier tipo de local, tanto en invierno como en verano, así como agua caliente de una forma sencilla, económica y respetuosa con el medio ambiente.

La gran ventaja de este equipo es precisamente su eficiencia, ya que es capaz de suministrar más energía útil que la que utiliza para su funcionamiento, lo que la convierte en un sistema beneficioso para el medioambiente y el usuario.

El funcionamiento de la bomba consiste en el transporte de energía en forma de calor de un ambiente a otro. Esto se consigue a través del cambio de estado de gas a líquido del fluido refrigerante a temperatura ambiente con ayuda de un compresor.

Se distinguen tres tipos principales de bomba de calor:

- Bomba aire-aire: se toma calor del aire exterior y se transfiere al aire del local
- Bomba aire-agua: se toma calor del aire exterior y se transfiere a un circuito de agua que abastecerá otro sistema. Se conocen como bombas aerotérmicas o sistema de **aerotermia**.
- Bomba agua-agua: se toma el calor de un circuito de agua en contacto con un elemento que le proporcione el calor, como la tierra o la capa freática, y se transfiere a un circuito de agua como el del caso anterior. En función del elemento que proporcione calor encontramos **bombas geotérmicas o hidrotérmicas**.

##### 3.4.1.1 Principio de funcionamiento

Para entender el funcionamiento del sistema es necesario conocer el concepto de fluido refrigerante. Este es un fluido que tiene la facilidad de absorber calor con una baja presión y temperatura y cederlo con alta presión y temperatura. Para ello es importante que su temperatura de ebullición sea lo más baja posible.

El circuito que almacena el refrigerante estará en contacto con el ambiente de manera que absorba su calor y comenzará a evaporarse, produciendo gas a baja temperatura y presión. Esta parte se conoce como **evaporador**. Sin embargo, el calor absorbido tiene que ser cedido y para ello se necesita que la presión y temperatura del gas sean altas, empleándose el **compresor**. Cuando se elevan la temperatura y presión se puede llevar a cabo el cambio de estado de gaseoso a líquido en el **condensador**, cediendo el calor.

La bomba de calor puede revertir el ciclo del refrigerante, por lo que podemos obtener aire frío en verano haciendo que la unidad situada en el interior actúe como evaporador, y aire caliente en invierno haciendo que actúe como condensador.

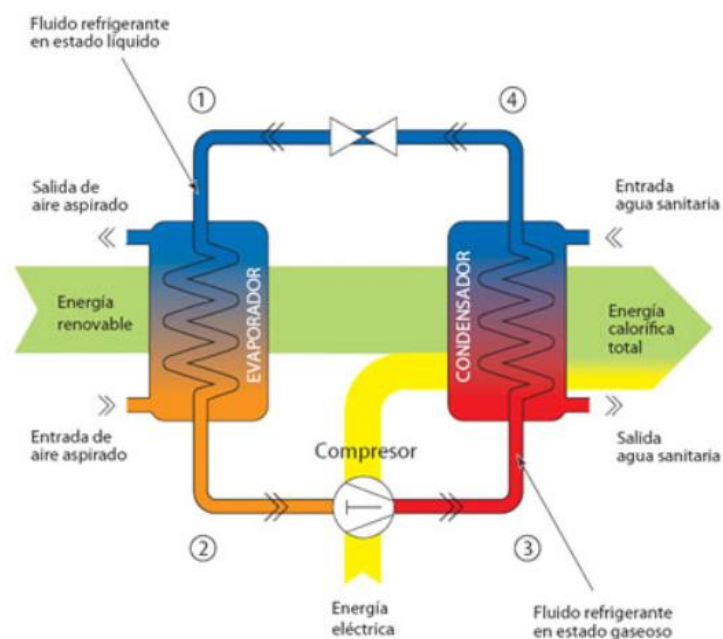


Figura 3.7. Ciclo de funcionamiento de una bomba de calor. (Fuente: [www.caloryfrio.com](http://www.caloryfrio.com))

### 3.4.2 Aerotermia

La aerotermia supone junto con el suelo radiante o la geotermia, uno de los sistemas más eficientes para llevar a cabo la climatización de un espacio. Este es un sistema que está formado por un equipo de calefacción o climatización, y uno de generación de ACS que se basa en la extracción de energía del aire exterior mediante una bomba de calor. Es decir, son bombas de calor de última generación diseñadas para aportar refrigeración en verano, calefacción en invierno y agua caliente todo el año. Se trata de un sistema que utiliza energía renovable para su funcionamiento ya que toma la energía existente en el aire.





Como se mencionó antes, la bomba de calor utilizada en este tipo de sistemas es del tipo aire-agua, en contraste con los sistemas de aire acondicionado convencionales del tipo aire-aire. La energía del aire exterior se cede al agua del circuito de calefacción de la vivienda para alimentar el suelo radiante, radiadores u otros sistemas.

A pesar de la elevada inversión inicial y las necesidades de instalación de equipos en el exterior de la vivienda, la aerotermia tiene muchas ventajas como su alta eficiencia, sostenibilidad o seguridad, ya que no requiere de caldera. Además, este sistema otorga la posibilidad de funcionar exclusivamente con electricidad, sin depender de otros suministros de combustible.

Se puede disponer de calefacción aerotérmica mediante:

- Equipos de aire
- Radiadores
- Fancoil
- Suelo radiante
- Techo radiante

### **3.4.3 Geotermia**

La energía geotérmica es aquella energía en forma de calor situada bajo la superficie terrestre almacenada en suelos, rocas o aguas subterráneas. Los sistemas de geotermia basan su funcionamiento en una bomba de calor agua-agua que aprovecha la temperatura constante del subsuelo a lo largo del año y permite calentar en invierno, refrigerar en verano, y producir agua caliente durante todo el año.

El funcionamiento de los sistemas geotérmicos es el mismo que el de los sistemas aerotérmicos, es decir, una bomba de calor. La única diferencia que existe es la fuente de calor del líquido refrigerante, que en este caso es el subsuelo. Gracias a las características del mismo, la temperatura dentro de él es constantes durante todo el año y por lo tanto el funcionamiento de la bomba de calor no se ve perjudicado por cambios en su temperatura de trabajo.

Para poder aprovechar la temperatura del subsuelo tenemos que asegurarnos que llegamos a la profundidad suficiente y para ello hay que disponer del espacio suficiente. En función de las características del terreno o parcela, encontramos distintos sistemas:

- Captación horizontal cerrada
- Captación vertical cerrada
- Captación de circuito abierto



### ***3.4.3.1 Sistemas de aprovechamiento de energía geotérmica***

**Captación horizontal cerrada:** Los sistemas horizontales cerrados son generalmente usados para instalaciones residenciales ya que son los más rentables para nuevas construcciones siempre y cuando se disponga de suficiente terreno.

A una profundidad de entre 1-1.5 metros se instala el circuito de captación geotérmico, formado por una red de tuberías de plástico de alta densidad conectado entre si mediante un colector [6].

Mediante la recirculación del fluido caloportador, una mezcla de agua y refrigerante) se intercambia calor en el terreno.

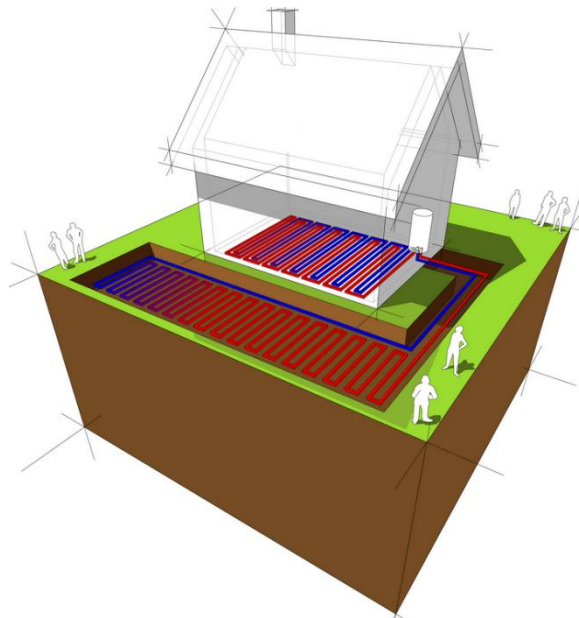


Figura 3.8. Esquema de sistema geotérmico de captación horizontal cerrada.  
(Fuente: [www.enertres.com](http://www.enertres.com))

**Captación vertical cerrada:** A través de una perforación practicada en el terreno se introduce una sonda de captación geotérmica formada por una tubería de plástico de alta densidad que puede permanecer inalterada durante mucho tiempo.

Estos sistemas son más convenientes para edificios de mayor tamaño como escuelas u hospitales, los cuales tienen más restringida la capacidad de poseer un terreno suficiente.

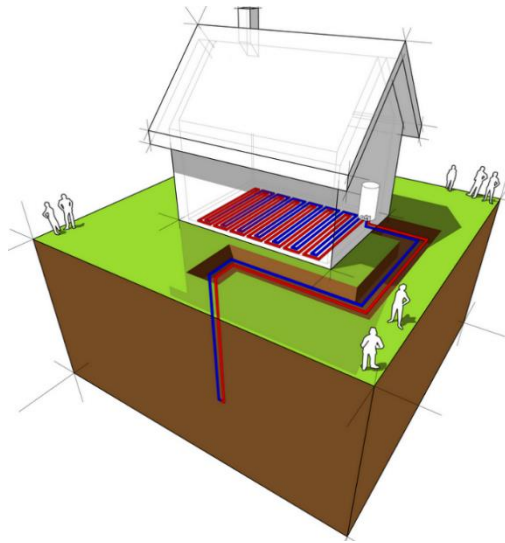


Figura 3.9. Esquema de sistema geotérmico de captación vertical cerrada. (Fuente: [www.enertres.com](http://www.enertres.com))

**Captación de circuito abierto:** En este caso se extrae agua subterránea de un pozo gracias a una bomba de extracción, intercambiando su calor a través de la bomba de calor geotérmica. Una vez se ha aprovechado su calor, esta agua es devuelta al acuífero por medio de otro pozo.

Este sistema tiene sus ventajas, como menor pérdida de calor y menores costes, sin embargo, sólo es adecuado cuando se disponga de la fuente de agua suficiente.

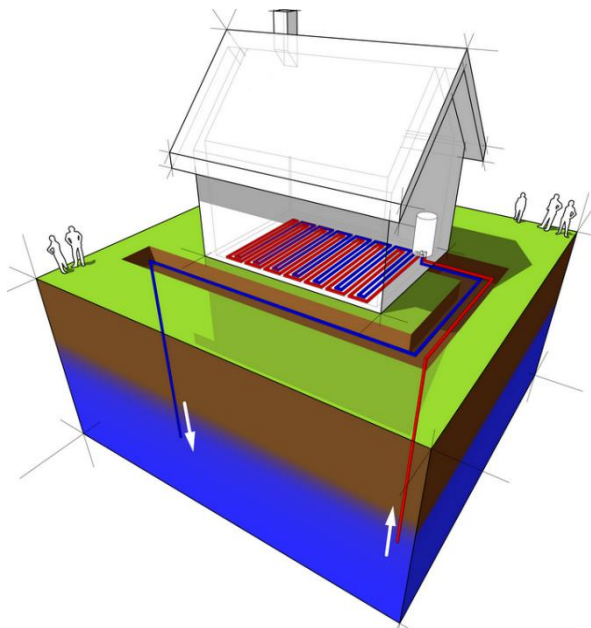


Figura 3.10. Esquema de sistema geotérmico de captación abierta. (Fuente: [www.enertres.com](http://www.enertres.com))



#### **3.4.4 Normativa**

La normativa referida a los sistemas de calefacción o climatización en edificios se recoge dentro del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). El RITE tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios destinados a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.

Este documento surge tras la necesidad de sustituir el anterior RITE con la transposición de la Directiva 2002/91/CE del 16 de diciembre, de eficiencia energética de los edificios y la aprobación del CTE por el Real Decreto 314/2016 de 17 de marzo.

### **3.5 CALEFACCIÓN**

En España el consumo energético destinado a calefacción es muy elevado, aunque se encuentre por debajo de la media de la UE, casi un 42% de la energía de las viviendas se dedica, por usos finales, a la calefacción. Se puede conseguir una mejora de la eficiencia en este aspecto mediante un correcto aislamiento térmico o mediante un cambio en el sistema utilizado.

Se estima que el 10% de las viviendas españolas cuentan con calefacción centralizada, el 25% con calefacción individual y el resto con calefacción mediante elementos independientes, aunque el sistema utilizado depende mucho de la zona en la que se encuentre la vivienda [7].

De todos estos sistemas encontramos la mayor eficiencia en el sistema de calefacción centralizada. Esto se debe a una gestión de la producción de calor centralizada y gastos de mantenimiento y combustible unificados y repartidos. Este tipo de calefacción son instalaciones complejas formadas por muchos componentes (caldera, bombas, tuberías, etc.), que pueden ser intervenidos para mejorar su eficiencia conjunta.

#### **3.5.1 Caldera**

Se trata de un equipo muy sensible que necesita de un mantenimiento regular para poder trabajar con un rendimiento adecuado. Además del mantenimiento se pueden llevar a cabo acciones que permitan mejorar su eficiencia:

- Aislamiento de la caldera
- Cambio a quemador modulante: Quemadores que inyectan combustible en función de la demanda.
- Optimización de la combustión
- Cambio de caldera: Alta inversión, pero también mayor ahorro energético.



#### **3.5.1.1 Bombas**

De nuevo las bombas necesitan de un mantenimiento periódico para poder funcionar correctamente. Otra posible solución para mejorar la eficiencia es sustituir la bomba por una de tipo electrónico con variador de frecuencia, que se adaptan automáticamente a la demanda.

#### **3.5.1.2 Tuberías**

Las acciones que se pueden llevar a cabo son la sustitución del aislamiento y el purgado o descalcificación de las tuberías.

#### **3.5.1.3 Terminales**

Por lo general los radiadores disponen de válvulas monogiro para cortar el suministro de agua, las cuales o no son utilizadas o están en mal estado. En este aspecto se pueden instalar válvulas termostáticas, que automatizan y regulan el caudal de entrada de agua en función de la temperatura deseada.

#### **3.5.1.4 Calefacción individual**

Para estos sistemas encontramos muchas medidas iguales, como la instalación de válvulas termostáticas, la sustitución de la caldera por una más moderna (condensación) o el purgado de la instalación. En este caso es el consumidor el que tiene el control sobre el sistema, por lo que se pueden llevar a cabo otras medidas para ahorrar energía. Se puede fijar la temperatura ambiente (aumentar un grado supone un aumento de consumo del 7%), o apagar la calefacción en aquellas horas que la vivienda no esté ocupada.

### **3.5.2 Suelo radiante**

Esta alternativa es uno de los sistemas de calefacción más eficientes y ha ido ganando popularidad con el paso de los años. Este sistema consiste en una red de tubos instalados bajo el suelo por donde circula agua caliente a una temperatura de entre 30 - 45°C.

La eficiencia de este sistema se basa en su **baja temperatura** en comparación con los sistemas tradicionales, que pueden alcanzar hasta los 70-75°C. Al trabajar en un rango de temperaturas tan próximo a la temperatura ambiente, se producen menos pérdidas en las conducciones y se puede combinar con otros sistemas de generación de calor eficientes como la aerotermia, geotermia o calderas de baja temperatura. Otra ventaja es que se puede utilizar como suelo refrescante en verano, combinándolo con una bomba de calor.



Figura 3.11. Instalación de un sistema de suelo radiante. (Fuente: [www.ingeosolar.com](http://www.ingeosolar.com))

### 3.6 ELECTRODOMÉSTICOS

Los electrodomésticos constituyen aproximadamente el 27% del consumo energético de la vivienda, siendo además los mayores consumidores de electricidad. Si discriminamos dentro de esta categoría podemos observar que el reparto de consumo se concentra en unos pocos equipos.

Evidentemente conocer qué electrodomésticos consumen más electricidad es de gran importancia ya que repercute directamente en la factura de la luz. Para determinar su consumo hay que tener en cuenta tanto la potencia que utilizan como el tiempo que están en uso a lo largo del año.

Para los electrodomésticos que más consumen es necesario también conocer sus curvas de carga, una representación gráfica del consumo de un aparato a lo largo del tiempo. Con la nueva discriminación horaria de la tarifa eléctrica se producen grandes diferencias en ahorro en función de la hora a la que se utilicen determinados electrodomésticos.

En las siguientes imágenes se puede ver como el mayor uso se concentra al mediodía y a finales de tarde, momentos en los que la electricidad alcanza su mayor precio, en el tramo de hora punta.

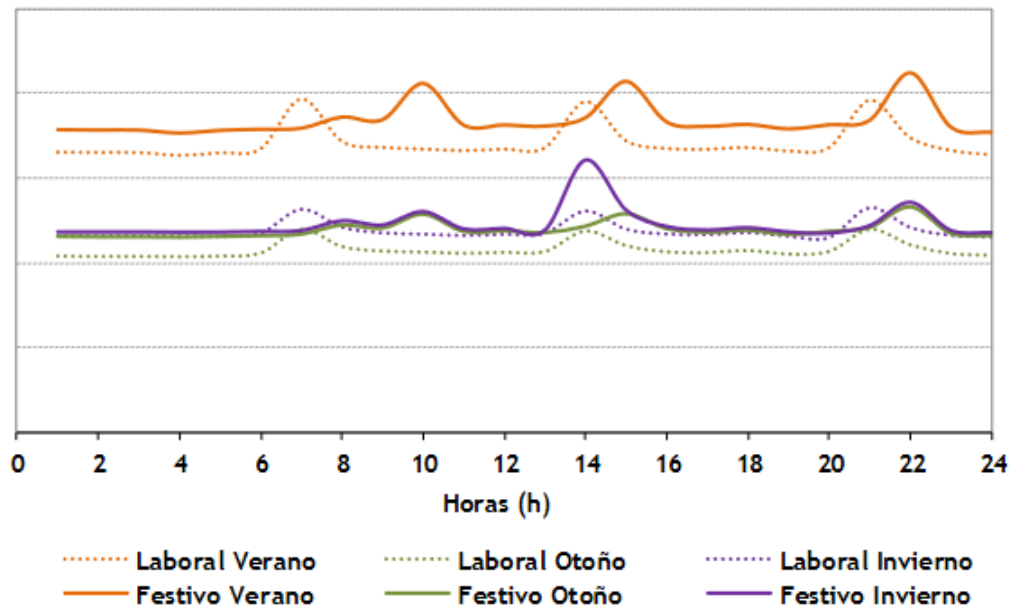


Figura 3.12. Curva de carga de un frigorífico. (Fuente: IDAE/EUROSTAT)

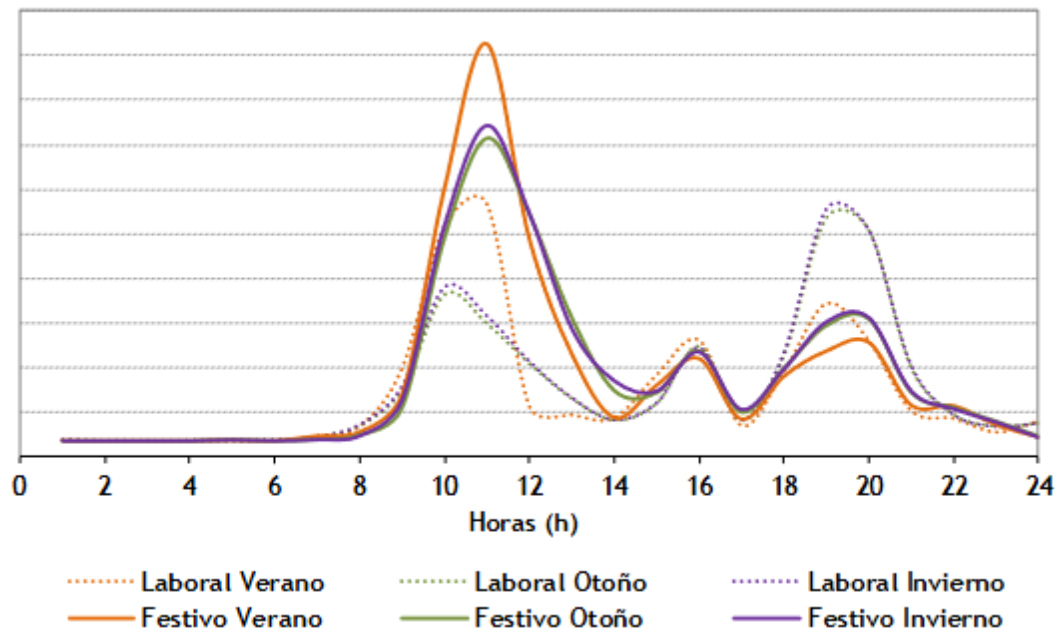


Figura 3.13. Curva de carga de una lavadora. (Fuente: IDAE/EUROSTAT)



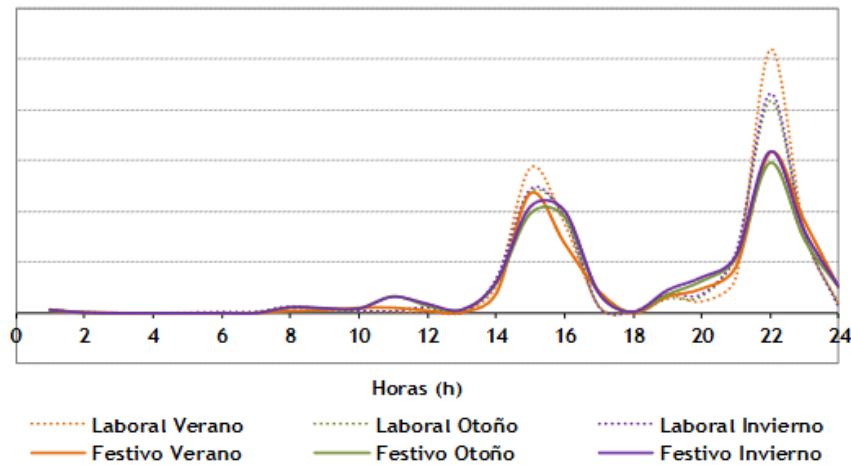


Figura 3.14. Curva de carga de un lavavajillas. (Fuente: IDAE/EUROSTAT)

### 3.6.1 Etiqueta energética

Para poder conocer qué aparatos consumen más o menos energía se puede utilizar la etiqueta energética. No todos los electrodomésticos cuentan con esta etiqueta, y aquellos que están obligados a tenerla son aquellos de los que más consumen:

- Frigorífico/Congelador
- Lavadora
- Secadora
- Lavavajillas
- Horno eléctrico
- Lámparas y bombillas
- Televisores y pantallas
- Aire Acondicionado

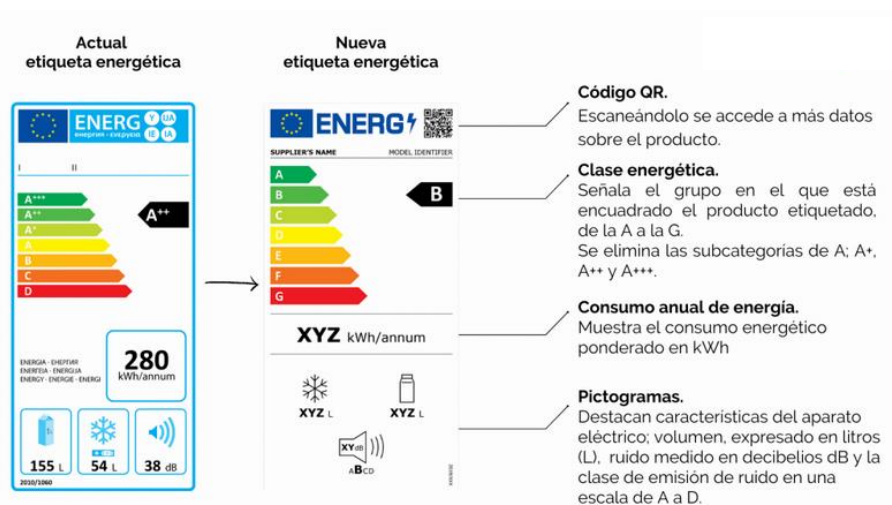


Figura 3.15. Comparación de las etiquetas energéticas. (Fuente: IDAE)



### **3.7 ILUMINACIÓN**

La luz es una de las necesidades más importantes de una vivienda, y supone una fracción importante del consumo eléctrico. Lograr una correcta iluminación depende de la situación particular de cada casa ya que no todos los espacios tienen las mismas necesidades de iluminación como el tiempo o intensidad de la luz.

Atendiendo al código técnico de la edificación [8] los edificios deberán de contar con sistemas de iluminación suficientes para satisfacer las necesidades de los usuarios y a la vez eficientes energéticamente, disponiendo de un sistema de control que permita ajustar su funcionamiento a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de luz natural en determinadas zonas.

Existe una amplia oferta de sistemas de iluminación que sirven para poder satisfacer las exigencias requeridas en el documento, pero estos se pueden clasificar principalmente en tres grupos:

- Bombillas incandescentes
- Lámparas fluorescentes
- Ledes

#### **3.7.1 Bombillas incandescentes**

Se trata de una fuente de luz en la que un conductor eléctrico de tungsteno se calienta mediante una corriente hasta alcanzar el rojo blanco y emitir luz. En la actualidad sigue siendo vigente para la iluminación de espacios habitables, aunque muchos países están poniendo en marcha su prohibición por su baja eficiencia.

Hay dos tipos:

- Lámparas incandescentes. Son las de mayor consumo eléctrico, más baratas y menor duración.
- Lámparas halógenas. Son de mayor duración y calidad.

#### **3.7.2 Lámparas fluorescentes**

Se trata de un tipo de lámpara de descarga de vapor de mercurio a baja presión y se utiliza normalmente para la iluminación doméstica o industrial. Su ventaja frente a otro tipo de lámparas, como las incandescentes, es su eficiencia energética. Existen dos tipos:

- Tubos fluorescentes. Son más caros, pero consumen un 80% menos de electricidad que las incandescentes teniendo la misma emisión luminosa con una duración superior.
- Lámparas de bajo consumo. Son más caras que las bombillas convencionales, pero se amortizan mucho antes dada su gran duración.



### 3.7.3 Ledes

Las lámparas de luz LED blanca representan uno de los progresos más novedosos en el ámbito de la iluminación. La tendencia actual es que sustituyan a las bombillas incandescentes como uso predominante en el entorno doméstico.

Se trata de un **dispositivo semiconductor** que emite luz cuando se polariza y es atravesado por la corriente eléctrica.

El uso de este tipo de lámparas se está incrementando debido a su mayor vida útil, menor fragilidad, y mayor eficiencia.

Al comparar los distintos sistemas de iluminación hay que diferenciar la eficacia lumínica de la eficiencia de la lámpara. Mientras que la eficacia es la relación que existe entre el flujo luminoso emitido y la potencia, la eficiencia se puede entender como el porcentaje de energía eléctrica utilizado para dar luz y que no se convierte en calor.

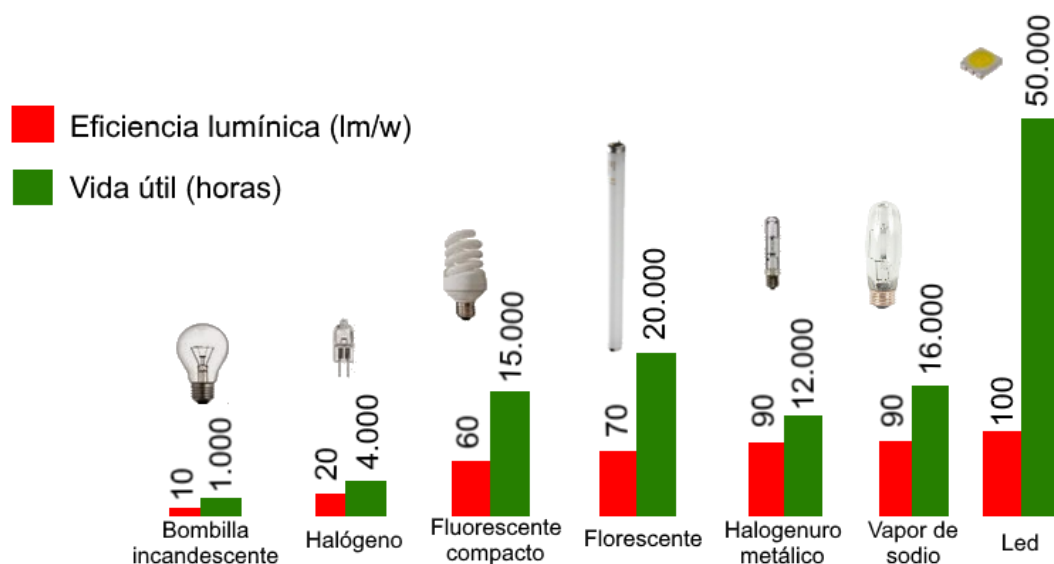


Figura 3.16. Comparación de los distintos tipos de luminaria. (Fuente: IDAE)

## 3.8 SISTEMAS DE GENERACIÓN RENOVABLE

A finales de 2016 y gracias al denominado “Paquete de Invierno” de la Comisión Europea, se propuso situar a la ciudadanía en el centro de la transición energética. En esta línea, la Directiva 2018/2001 relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables incluye dentro de sus artículos que los estados miembros deben garantizar a los consumidores el derecho a producir, consumir, almacenar y vender su propia energía renovable [9].



Además, como resultado de las medidas contenidas en el borrador del PNIEC encaminadas a la reducción del uso de combustibles fósiles y la promoción de energías renovables se estima que las renovables alcancen en 2030 el 42% del uso final de energía.

La tendencia nacional y europea es la del fomento del autoconsumo, para poder satisfacer así las necesidades energéticas de la vivienda de una forma eficiente y comprometida con las políticas en vigor.

### **3.8.1 Autoconsumo**

El autoconsumo consiste en consumir electricidad proveniente de tu propia instalación de generación de energía y sus principales ventajas son la sostenibilidad y el ahorro. El Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, regula las condiciones del autoconsumo de energía eléctrica. Además, acaba con los cargos al autoconsumo, simplifica las modalidades y permite el autoabastecimiento colectivo.

Los sistemas de autoconsumo o de generación renovable se componen de la propia instalación de generación (paneles solares fotovoltaicos o generadores eólicos) y el resto de elementos como inversores, cables o estructuras de soporte.

Estos pueden ser instalados tanto en casas individuales como en bloques de pisos, siendo necesario disponer de un espacio suficiente y adecuado para albergar todo el equipo, es decir, que no disponga de árboles, sombras o malas orientaciones.

Existen dos tipos de instalaciones de autoconsumo conectadas a la red: sin excedentes o con excedentes

- Sin excedentes. Están conectadas a la red de distribución o de transporte y a través de un sistema antivertido no permiten que la energía excedentaria se inyecte a la red.
- Con excedentes. Son las instalaciones que además de suministrar energía para autoconsumo, pueden inyectar la energía excedentaria en las redes de transporte y distribución.

Aprovechar la energía solar es la opción más común en el caso de España puesto que contamos con aproximadamente 300 días de sol anuales, lo que significa una producción prácticamente ininterrumpida a lo largo del año. Además, contamos con una mayor irradiación solar que otros países europeos, lo que aumenta la capacidad de producción.

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries

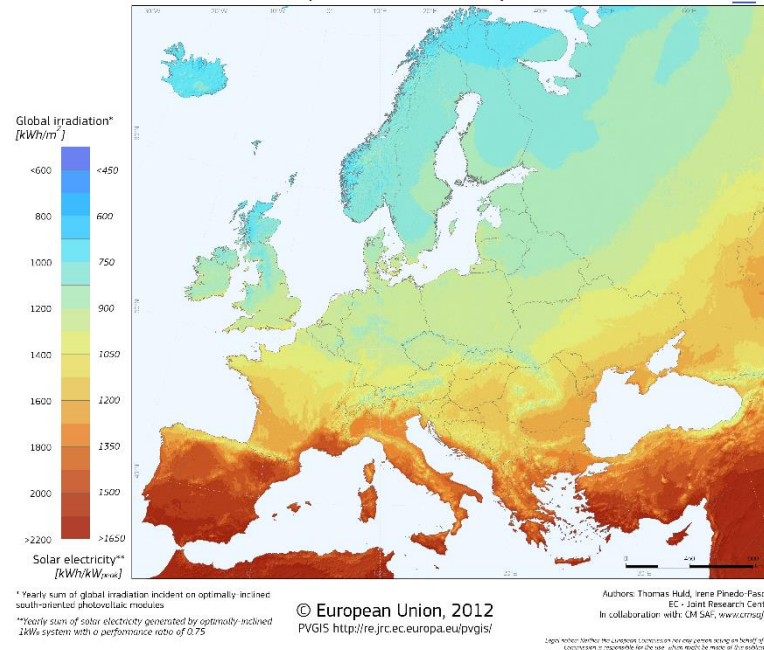


Figura 3.17. Potencial de la energía solar fotovoltaica en países europeos. (Fuente: European Commission)

El uso de paneles solares fotovoltaicos puede suplir algunas de las necesidades de electricidad que surjan a lo largo del día, sin embargo, si contamos con un sistema sin excedentes existe otra opción más interesante, la instalación de una batería.

Una batería o acumulador eléctrico es un dispositivo que permite almacenar energía eléctrica. Estos equipos se pueden cargar con la energía obtenida mediante el sistema de autoconsumo, de forma que su energía pueda ser utilizada en otro momento. Actualmente en el mercado existe mucha oferta, pero dos compañías tienen las opciones más interesantes.

### 3.8.1.1 Ampere energy

Los acumuladores o baterías de Ampere Energy son un sistema inteligente de gestión de energía. Se trata de un equipo sencillo, que se instala directamente al cuadro eléctrico y a las placas solares y actualmente disponen de tres modelos con distintas capacidades.

Estas baterías inteligentes almacenan la energía que generan las placas solares para poder así utilizarla las 24 horas sin necesidad de consumir energía de la red. Los equipos cuentan con una inteligencia artificial con sistema predictivo, que permiten analizar los hábitos de consumo, así como conexión a internet.



Mediante la conexión a Internet el sistema es capaz de acceder a información meteorológica, de forma que analiza el momento óptimo para cargar las baterías.

Si el día es soleado el equipo utilizará la energía captada en los paneles solares para cargar la batería, si por el contrario el día no permite esto, el sistema analizará la opción más económica para cargar la batería, por ejemplo, por la noche cuando la energía eléctrica es menos costosa.

#### ***3.8.1.2 Tesla Powerwall***

El sistema Tesla Powerwall es muy similar al anterior. Se trata de una batería inteligente que almacena energía, detecta cortes de suministro y se convierte automáticamente en la fuente de energía si la red eléctrica falla. Al igual que antes, esta tecnología es compatible con el autoconsumo, y es que puede recargarse con la luz del sol para poder estar en funcionamiento durante días.

## 4. METODOLOGÍA

La tendencia en España de cara a la búsqueda de una mayor eficiencia en el sector residencial es la rehabilitación energética. Con esta metodología se pretende mejorar la calificación energética de los edificios de acuerdo con la Estrategia a Largo Plazo de renovación de los edificios elaborada por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) y con el Plan estatal de vivienda.

En relación con la eficiencia energética de los edificios el PNIEC contempla dos medidas, la 2.6 y la 2.7 que pretenden actuar sobre la envolvente térmica, instalaciones térmicas y equipamiento residencial, aunque de nuevo desde la rehabilitación. En el plan se prioriza la mejora en la envolvente térmica para evitar así un mayor consumo relacionado con el aumento del uso de los equipos de calefacción y aprovechar la facilidad de instalación. Sin embargo, las medidas contempladas de cara a los equipos de calefacción son muy escasas.

La dimensión de la eficiencia energética dentro de la vivienda es mucho mayor y abarca muchos más aspectos como la iluminación o los sistemas de generación renovables, además en función de la vivienda las medidas sobre las que se puede actuar son distintas, en función siempre del presupuesto disponible. La búsqueda de una eficiencia energética más elevada nos obliga a plantear una metodología basada en el diseño de la vivienda. De esta forma vamos a poder actuar en todos aquellos aspectos que deseemos desde cero, teniendo en cuenta nuestras posibilidades, ya sean de terreno o económicas.

El objetivo por lo tanto es mostrar las diferencias existentes en materia de eficiencia energética entre una vivienda estándar que se ajuste al CTE y una vivienda de las mismas características que no solo cumpla las exigencias recogidas en el CTE, sino que las supere, de forma que obtenga así la mayor eficiencia energética posible.

Lo que se busca mediante este último caso es resaltar el contraste entre ambos escenarios, los cuales parten de la misma casa, por lo que se trabajará con la premisa de un presupuesto ilimitado que permita alcanzar las mejores condiciones.

Una vez se encuentren definidas las dos viviendas se procederá a analizar la eficiencia de cada una mediante el uso del software más adecuado.

## **4.1 ANÁLISIS DEL CONSUMO REAL DE UNA VIVIENDA TIPO SIN APLICAR MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

### **4.1.1 Definición de la vivienda tipo**

Una vivienda tipo será aquella que cumpla con los requerimientos establecidos en el Documento Básico Ahorro de energía del CTE. Este documento tiene como objetivo conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reducir a límites sostenibles el consumo y asegurar que parte del mismo proceda de fuentes de energía renovable.

Una obligación adicional del documento es también el diseño y construcción del edificio de forma que demande poca energía para alcanzar las condiciones deseadas. Para lograr este objetivo es fundamental el diseño del edificio, atendiendo a aspectos como orientación, compacidad, proporción de huecos, protecciones solares y sombras.

Esto implica por lo tanto conseguir un nivel mínimo de aislamiento térmico global, limitar el exceso de ganancias solares en verano, controlar la permeabilidad al aire de los elementos, evitar pérdidas de calor y asegurar el correcto mantenimiento de las instalaciones.

El documento se divide en cinco partes denominadas exigencias básicas. Cada una especifica parámetros y objetivos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias y niveles mínimos de calidad establecidos [(9)].

#### **Exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético.**

El consumo energético de los edificios será determinado en función de tres parámetros: la zona climática de su ubicación, el uso que se le dé al edificio y en caso de edificios existentes, la dimensión de las obras. Además, como ya se ha comentado, se incentivará la reducción del consumo mediante el uso de energía procedente de fuentes renovables.

#### **Exigencia básica HE 1: Condiciones para el control de la demanda energética.**

En este apartado se establecerán medidas que intervengan sobre la envolvente del edificio. Los edificios deben de disponer de una envolvente térmica con unas propiedades tales que reduzcan las necesidades de energía necesaria para alcanzar el confort térmico en función de su zona climática, del uso del edificio, de la dimensión de las obras y también de las diferencias entre el régimen de verano e invierno.

Las características de los elementos de la envolvente deben evitar las descompensaciones en calidad térmica de los distintos espacios habitables, incluyendo particiones interiores y zonas comunes del edificio.

Además, se limitarán los riesgos asociados a procesos que produzcan una pérdida en la calidad de la instalación ya sean características térmicas o elementos constructivos de la envolvente.



### **Exigencia básica HE 2: Condiciones de las instalaciones térmicas.**

Las instalaciones térmicas de los edificios tienen que ser suficientes para poder lograr el bienestar térmico de los ocupantes. Esta exigencia debe su aplicación al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

### **Exigencia básica HE 3: Condiciones de las instalaciones de iluminación.**

Este apartado trata los sistemas de iluminación de los edificios, los cuales deben de ser adecuados a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente. Además, estos deben de tener un sistema de control y regulación para poder ajustar el funcionamiento al nivel de ocupación de la vivienda y al nivel de luz natural.

### **Exigencia básica HE 4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria.**

Los edificios de nueva construcción deberán de cubrir sus necesidades de ACS y climatización de piscinas cubiertas empleando en mayor o menor medida energía procedente de fuentes renovables o procesos de cogeneración renovables.

### **Exigencia básica HE 5: Generación mínima de energía eléctrica.**

Se deberán de incorporar sistemas de generación de energía eléctrica procedente de fuentes renovables para aquellos edificios con un elevado consumo de energía.

Mediante el cumplimiento de estas exigencias se van a alcanzar distintos niveles de eficiencia, de esta forma podemos comparar el consumo y gastos asociados a un cumplimiento más estricto o más flexible. Aquel edificio que cumpla con las exigencias reglamentarias establecidas en el documento se puede catalogar como un edificio de consumo de energía casi nulo.

#### **4.1.2 Limitación del consumo energético**

Este apartado establece una base de las exigencias reglamentarias del DB ya que define los dos indicadores más importantes así como sus valores límite: el consumo de energía primaria total ( $C_{ep,tot}$ ) y el consumo de energía primaria no renovable ( $C_{ep,ren}$ ).

El consumo de energía primaria total determina las necesidades totales de energía del edificio independientemente de su origen y de su carácter renovable o no. El consumo de energía primaria no renovable restringe este parámetro a la cantidad de energía procedente de fuentes no renovables que puede consumir el edificio.

Estos indicadores están referidos a la energía primaria en lugar de la energía final, ya que de esta forma se refleja la cantidad de energía que es necesario extraer de la naturaleza, es decir, muestra los recursos energéticos utilizados.



Tabla 4.1. Valor límite  $C_{ep,ren}$  [kW·h/m<sup>2</sup>·año] para uso residencial privado. (Fuente: CTE)

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,25

Tabla 4.2. Valor límite  $C_{ep,tot}$  [kW·h/m<sup>2</sup>·año] para uso residencial privado. (Fuente: CTE)

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,15

#### 4.1.3 Condiciones para el control de la demanda energética

El cumplimiento de esta exigencia obliga a los edificios de nueva construcción a disponer de una envolvente térmica que limite sus necesidades de energía primaria en función de su zona climática, uso y compacidad.

Para poder conseguir esto es necesario considerar cinco aspectos:

- Transmitancia global de la envolvente térmica (K) y transmitancia por elemento ( $U_{lim}$ )
- Control solar de la envolvente térmica ( $q_{sol; jul}$ )
- Permeabilidad al aire de la envolvente térmica ( $Q_{100}$  y  $n_{50}$ )
- Limitar las descompensaciones entre unidades de uso ( $U_{lim}$  particiones interiores)
- El control de las condensaciones.

El parámetro Alpha ( $\alpha$ ) representa la absorptividad, fracción de la radiación solar incidente a una superficie que es absorbida por la misma.





#### 4.1.3.1 Transmitancia global de la envolvente térmica ( $K$ )

Esta incluye las propiedades de los elementos que forman la envolvente térmica, su proporción y el cuidado de los puentes térmicos con el objetivo de asegurar la eficiencia energética de la envolvente. La transmitancia global está referida al conjunto del edificio, pero se determina mediante los valores de las transmitancias térmicas límite de cada elemento que lo compone ( $U_{lim}$ ).

Tabla 4.3. Valor límite  $K_{lim}$  [ $W/m^2K$ ] para uso residencial privado. (Fuente:

	Compacidad $V/A$ [ $m^3/m^2$ ]	$\alpha$	Zona climática de invierno				
			A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	$V/A \leq 1$	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	$V/A \geq 4$	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	$V/A \leq 1$	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	$V/A \geq 4$	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Tabla 4.4. Valor límite de transmitancia térmica  $U_{lim}$  [ $W/m^2K$ ] para uso residencial privado. (Fuente: CTE)

Elemento	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior ( $U_s, U_M$ )	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
cm de aislamiento	2,5	3	4	5	6,5	7
Cubiertas en contacto con el aire exterior ( $U_c$ )	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
cm de aislamiento	5	5,5	6,5	7	8	8,5
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno ( $U_T$ ) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica ( $U_{MD}$ )	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
cm de aislamiento	1,5	2	2,5	2,5	3	3,5
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) ( $U_w$ )*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
composición de cristal y carpintería metálica, sin cajón de persiana	4/16/6 SinRPT	BE4/8/6 SinRPT	BE4/8/6 RPT	BE4/10/6 RPT	BE4/20/6 RPT	BE4/20/6 RPT
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	5,7					

\*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de  $U_w$  en un 50%.

Las transmitancias térmicas límites recogidas en la tabla aseguran una calidad mínima de los elementos individuales de la envolvente suficiente para evitar descompensaciones, pero no garantizan el cumplimiento global del edificio. Este viene recogido en la tabla anterior ( $K_{lim}$ ). Por eso mismo se establecen unos valores límites de la transmitancia térmica de los elementos del edificio suficientes para cumplir con la transmitancia global.

Tabla 4.5. Valor orientativo de transmitancia térmica  $U_{lim}$  [ $W/m^2K$ ] suficiente para cumplir la transmitancia global. (Fuente: CTE)

Elemento	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior ( $U_s$ , $U_M$ )	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
cm de aislamiento	4	5	7	9,5	10,5	12,5
Cubiertas en contacto con el aire exterior ( $U_c$ )	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
cm de aislamiento	5,5	6	8,5	13	13,5	16
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno ( $U_T$ )	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica ( $U_{MD}$ )						
cm de aislamiento	2	2	3	5	5	5
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) ( $U_H$ )*	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5
composición de cristal y carpintería metálica, sin cajón de persiana	BE4/8/6 SinRPT	BE4/8/6 SinRPT	BE4/10/6 RPT	BE4/10/6 RPT	BE4/12Ar/BE4/14Ar/6 RPT	BE4/10/6 RPT

Como se puede apreciar en la tabla 4.5 los espesores varían en función de las necesidades. Al igual que la transmitancia global de la envolvente térmica, el valor de transmitancia térmica se refiere a qué tan bien se conduce el calor a través de una serie de medios resistentes.

La compacidad se define como la relación entre el volumen encerrado por la envolvente térmica ( $V$ ) del edificio (o parte del edificio) y la suma de las superficies de intercambio térmico de dicha envolvente.

#### 4.1.3.2 Control solar ( $q_{sol;jul}$ )

Uno de los aportes energéticos de los edificios más relevante en nuestro país es el de la radiación solar. Esta energía supone una ventaja en invierno ya que reduce la carga energética de calefacción, pero también supone una desventaja en verano ya que aumenta las necesidades de climatización. Por ello es importante llevar a cabo medidas que aumenten su impacto en la temporada de invierno y la reduzcan en verano.

Las dos estrategias principales son las protecciones solares fijas y móviles. Estas reducen la radiación arrojada sobre el hueco ya que producen sombra.

El parámetro de control solar mide la radiación solar total que penetra en el edificio durante el mes de julio con las protecciones solares móviles activas. Para las protecciones solares fijas este factor se obtiene calculando el porcentaje de rayos solares que la protección bloquea antes de alcanzar el hueco.

Mediante este parámetro se pretende conseguir un control efectivo de las ganancias solares limitando así el impacto negativo de la radiación solar. Es decir, se mide la capacidad del edificio de protegerse de la radiación solar excesiva para poder evitar el sobrecalentamiento y por lo tanto la necesidad de refrigeración de los espacios.

Tabla 4.6. Valor límite del parámetro de control solar  $q_{sol,jul,lim}$  [kWh/m<sup>2</sup>·mes] para uso residencial privado. (Fuente: CTE)

Uso	$q_{sol,jul}$
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

La norma ISO 52016-1:2017 establece una distinción entre los dos sistemas de protección, operados por usuarios o automáticos, de forma que regula su uso en función de la irradiación.

Tabla 4.7. Operación de cerramientos en función de la irradiación solar. (Fuente: CTE)

Control level	Rules
0 Manual operation	Closed: if solar irradiance > 300 W/m <sup>2</sup> Open: if solar irradiance < 300 W/m <sup>2</sup>
1 Motorized operation with manual control	Same
2 Motorized operation with automatic control	Closed: if solar irradiance > 200 W/m <sup>2</sup> Open: if solar irradiance < 200 W/m <sup>2</sup> and ≥ 2 hours passed since closing
3 Combined light/blind/HVAC control	Same

Tabla B.24 UNE-EN ISO 52016-1:2017: Rules for operation of solar shading devices

#### **4.1.3.3 Permeabilidad de la envolvente térmica ( $n_{50}$ )**

Para el correcto diseño del edificio es necesario tener en cuenta el control de ventilación e infiltraciones. En los anteriores apartados se atiende a las transmisiones e de energía al edificio mediante conducción y radiación ( $K$  y  $q_{sol,jul}$ ) pero con el avance de la normativa la transmisión por convección ha ido cobrando más relevancia.

La diferencia entre ventilación e infiltración es que mientras la ventilación es un intercambio de aire producido de forma artificial mediante sistemas diseñados específicamente para ello, las infiltraciones suponen intercambios no controlados producidos a través de un sistema de ventilación.

La búsqueda de un aislamiento mayor materializa el parámetro de permeabilidad de la envolvente térmica. Este se define como el volumen de aire que entra a través de los cerramientos gracias a la diferencia de presión entre el exterior y el interior.

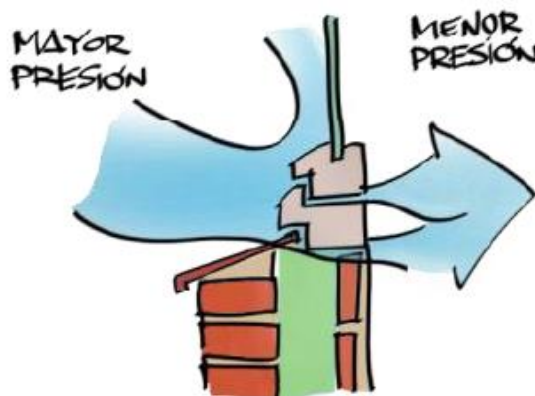


Figura 4.1. Principio de permeabilidad total de los edificios. (Fuente: CTE)

En el DB-HE se establece la condición obligatoria de que las soluciones constructivas y las condiciones de ejecución de los elementos de la envolvente aseguren una adecuada estanqueidad al aire. Se presta especial atención a los encuentros entre huecos y opacos, los puntos de acceso de la envolvente y las puertas de paso a espacios no acondicionados.

Se establecen dos parámetros de obligado cumplimiento: la permeabilidad al aire de los huecos ( $Q_{100}$ ) que afecta a todos los huecos del edificio, y la permeabilidad al aire de la envolvente térmica ( $n_{50}$ ), exigible solo a la edificación residencial privada nueva con superficie útil superior a 120 m<sup>2</sup>, nuestro caso.

Tabla 4.8. Valor límite de la permeabilidad al aire los huecos  $Q_{100,lim}$  [ $m^3/h \cdot m^2$ ]. (Fuente: CTE)

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos ( $Q_{100,lim}$ ) <sup>*</sup>	$\leq 27$	$\leq 27$	$\leq 27$	$\leq 9$	$\leq 9$	$\leq 9$

<sup>\*</sup> La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa,  $Q_{100}$ .

Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ( $\leq 27 m^3/h \cdot m^2$ ) y clase 3 ( $\leq 9 m^3/h \cdot m^2$ ) de la UNE-EN 12207:2017.

La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

Tabla 4.9. Valor límite de la permeabilidad al aire de toda la envolvente térmica  $n_{50,lim}$  [ $h^{-1}$ ]. (Fuente: CTE)

Compacidad V/A [ $m^3/m^2$ ]	$n_{50}$
$V/A \leq 2$	6
$V/A \geq 4$	3

Los valores límite de las compacidades intermedias ( $2 < V/A < 4$ ) se obtienen por interpolación.

Las pérdidas de calor también pueden suceder entre diferentes estancias de la vivienda a través de las particiones interiores. Esto se puede deber a diferentes horarios de uso o necesidades de acondicionamiento. Para ello se establece un valor mínimo de transmitancia térmica de particiones interiores.

Tabla 4.10. Transmitancia térmica límite de particiones interiores  $U_{lim}$  [ $W/m^2K$ ]. (Fuente: CTE)

Tipo de elemento		Zona climática de invierno					
		$\alpha$	A	B	C	D	E
Entre unidades del mismo uso	Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
	Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00
Entre unidades de distinto uso Entre unidades de uso y zonas comunes	Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

#### 4.1.4 Condiciones de las instalaciones térmicas

Atendiendo a la definición del RITE se considerarán como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas, o las instalaciones destinadas a la producción de agua caliente sanitaria [10].

Las instalaciones térmicas de un edificio deben de tener un diseño y uso eficiente de forma que se pueda alcanzar el confort térmico del edificio, así como una adecuada calidad del aire. Para ello deben de ser capaces de usar la menor energía posible.

Las características de los equipos necesarios están recogidas en el RITE, al que acude el DB-HE del CTE para mostrar la información. Este documento establece que se deberán de cumplir unas exigencias de bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad para las instalaciones. Estas quedan recogidas en el documento, así como en las instrucciones técnicas pertinentes.

Las instrucciones técnicas del documento aparecen recogidas en la parte II del RITE, que contiene la caracterización de las exigencias técnicas y su cuantificación. Esta cuantificación se consigue mediante el establecimiento de valores límite y procedimientos de verificación. Las instrucciones técnicas y sus exigencias son las siguientes:

- IT 1 Diseño y dimensionado
- IT2 Montaje
- IT3 Mantenimiento y uso
- IT4 Inspección

Los valores límite interesantes para el desarrollo de esta parte vienen recogidos principalmente en la IT 1.

##### 4.1.4.1 IT 1 Diseño y dimensionado: bienestar e higiene

Las condiciones interiores de diseño de la temperatura operativa y la humedad relativa se fijan dependiendo de la actividad metabólica de las personas, su grado de vestimenta y el porcentaje estimado de insatisfechos (PPD)

Tabla 4.11. Valores de temperatura operativa y humedad relativa. (Fuente: RITE)

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Para el dimensionamiento de los sistemas de calefacción por lo tanto se utilizarán las condiciones más desfavorables en cada caso. Es decir, se empleará una temperatura de cálculo de 21°C para los sistemas de calefacción y una temperatura de 25°C para los de refrigeración.

En cuanto al aire, en función del uso del edificio o local, la categoría del aire interior (IDA) que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente:

- IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, **residenciales**, salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y piscinas.
- IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para deporte y salas de ordenadores.
- IDA 4 (aire de baja calidad)

Estas categorías influirán en el cálculo del caudal mínimo de aire exterior necesario para ventilación, cuyo valor dependerá del método de cálculo.

El documento también establece las características del aire exterior de ventilación, que debe de ser introducido al edificio correctamente filtrado. Las clases de filtración mínimas a emplear se determinan en función de la calidad del aire exterior (ODA) y la calidad del aire interior requerida (IDA).

Tabla 4.12. Clases de filtración. (Fuente: RITE)

Calidad del aire exterior	Calidad del aire interior			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	F5 + F7	F5 + F6
ODA 3	F7+GF*+F9	F7+GF+F9	F5 + F7	F5 + F6

La calidad del aire exterior se clasifica de acuerdo con lo siguiente:

- ODA 1: aire puro que se ensucia sólo temporalmente.
- ODA 2: aire con concentraciones altas de partículas y/o gases contaminantes.
- ODA 3: aire con concentraciones muy altas de partículas y/o gases contaminantes.



#### 4.1.4.2 Eficiencia energética y energías renovables y residuales

Para poder cumplir correctamente con esta exigencia de cara al diseño y dimensionado de las instalaciones térmicas, se podrán llevar a cabo dos procedimientos, el simplificado y el alternativo.

El procedimiento simplificado consiste en la adopción de soluciones basadas en la limitación indirecta del consumo energético de la instalación mediante el cumplimiento de los valores límite. El alternativo se basa en medidas alternativas que busquen reducir directamente el consumo energético.

Los equipos de generación térmica tienen que cumplir con los requisitos establecidos en los reglamentos europeos de diseño ecológico vigentes que les sean de aplicación, tanto los equipos de generación de calor como los de frío [11] [12].

Tabla 4.13. Eficiencia energética estacional mínima de productos de calefacción de aire. (Fuente: EUR-Lex)

	$\eta_{i,h}$ (%)
Generadores de aire caliente que utilizan combustibles, a excepción de los generadores de aire caliente B <sub>1</sub> con una potencia calorífica nominal inferior a 10 kW y de los generadores de aire caliente C <sub>2</sub> y C <sub>4</sub> con una potencia calorífica nominal inferior a 15 kW	78
Generadores de aire caliente que utilizan electricidad	31
Bombas de calor aire-aire, accionadas por un motor eléctrico, a excepción de las bombas de calor de tejado	137
Bombas de calor de tejado	125
Bombas de calor aire-aire, accionadas por un motor de combustión interna	130

(\*) Debe declararse en los cuadros pertinentes del presente anexo y en la documentación técnica, redondeada al primer decimal.

En el caso de las bombas de calor *multisplit*, el fabricante determinará la conformidad con el presente Reglamento sobre la base de mediciones y cálculos con arreglo al anexo III. Respecto a cada modelo de unidad exterior, en la documentación técnica se incluirá una lista de combinaciones recomendadas con unidades interiores compatibles. A partir de ese momento, la declaración de conformidad se aplicará a todas las combinaciones mencionadas en esa lista. La lista de combinaciones recomendadas se pondrá a disposición antes de la venta/arrendamiento financiero/alquiler de una unidad exterior.



Tabla 4.14. Eficiencia energética estacional mínima de productos de refrigeración. (Fuente: EUR-Lex)

	$\eta_{se}$ (%)
Enfriadoras aire-agua con potencia nominal de refrigeración < 400 kW, accionadas por un motor eléctrico	161
Enfriadoras aire-agua con potencia nominal de refrigeración ≥ 400 kW, accionadas por un motor eléctrico	179
Enfriadoras agua-agua/salmuera-agua con potencia nominal de refrigeración < 400 kW, accionadas por un motor eléctrico	200
Enfriadoras agua-agua/salmuera-agua con 400 kW ≥ potencia nominal de refrigeración < 1 500 kW, accionadas por un motor eléctrico	252
Enfriadoras agua-agua/salmuera-agua con potencia nominal de refrigeración ≥ 1 500 kW, accionadas por un motor eléctrico	272
Enfriadoras aire-agua con potencia nominal de refrigeración ≥ 400 kW, accionadas por un motor de combustión interna	154
Acondicionadores de aire aire-aire, accionados por un motor eléctrico, a excepción de los acondicionadores de aire de tejado	189
Acondicionadores de aire de tejado	138
Acondicionadores de aire aire-aire, accionados por un motor de combustión interna	167

(\*) Debe declararse en los cuadros pertinentes del presente anexo y en la documentación técnica, redondeada al primer decimal.

En el caso de los acondicionadores de aire *multisplit*, el fabricante determinará la conformidad con el presente Reglamento sobre la base de mediciones y cálculos con arreglo al anexo III. Respecto a cada modelo de unidad exterior, en la documentación técnica se incluirá una lista de combinaciones recomendadas con unidades interiores compatibles. A partir de ese momento, la declaración de conformidad se aplicará a todas las combinaciones mencionadas en esa lista. La lista de combinaciones recomendadas se pondrá a disposición antes de la venta/arrendamiento financiero/alquiler de una unidad exterior.

Los aparatos de calefacción local deberán de cumplir con los siguientes requisitos:

Tabla 4.15. Eficiencia energética estacional mínima aparatos de calefacción local. (Fuente: EUR-Lex)

	$\eta$
Aparatos de calefacción local con la parte frontal abierta que utilicen combustibles gaseosos o líquidos	> 42%
Aparatos de calefacción local con la parte frontal cerrada que utilicen combustibles gaseosos o líquidos	> 72%
Aparatos de calefacción local eléctricos portátiles	> 36%
Aparatos de calefacción local eléctricos fijos con una potencia calorífica nominal > 250 W	> 38%
Aparatos de calefacción local eléctricos fijos con una potencia calorífica nominal ≤ 250 W	> 34%
Aparatos de calefacción local eléctricos fijos con almacenamiento	> 38,5%
Aparatos de calefacción local eléctricos instalados bajo el suelo	> 38%
Aparatos de calefacción local eléctricos radiantes	> 35%
Aparatos de calefacción local de combustión visible con una potencia calorífica nominal > 1,2 kW	> 35%
Aparatos de calefacción local de combustión visible con una potencia calorífica nominal ≤ 1,2 kW	> 31%
Aparatos de calefacción local de radiación luminosa	> 85%
Aparatos de calefacción local de tubo radiante	> 74%



Las calderas de potencia mayor a 400kW tienen que obtener un rendimiento igual o superior que el exigido para las calderas de 400kW en el Real Decreto 275/1995, de 24 de febrero [13].

En el caso de generadores de calor que utilicen biomasa el rendimiento mínimo exigido es del 75% a plena carga. Además, queda prohibida la instalación de calderas de tipo atmosférico o marcadas con una prestación energética igual o inferior a dos estrellas.

También hay que tener en cuenta al aislamiento térmico de las tuberías y otros elementos. Este será obligatorio cuando dispongan de fluidos refrigerados con temperatura menor a que la temperatura ambiente del local y fluidos con una temperatura mayor a 40°C cuando estén instalados en locales no calefactados. Por otra parte, toda tubería situada en el exterior del edificio debe poseer una terminación con protección suficiente contra la intemperie.

El procedimiento simplificado en el caso de tubos o tuberías establece unos espesores mínimos de aislamiento para distintos casos.

Tabla 4.16. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan ACS y que discurren por interior y exterior de edificios. (Fuente: RITE)

Diámetro exterior (mm)	Aislamiento de tuberías para ACS	
	Interior	Exterior
$D \leq 35$	30	40
$35 < D \leq 60$	35	45
$60 < D \leq 90$	35	45
$90 < D \leq 140$	45	55
$140 < D$	45	55

Tabla 4.17. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios. (Fuente: RITE)

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

Tabla 4.18. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios. (Fuente: RITE)

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

Tabla 4.19. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el interior de edificios. (Fuente: RITE)

Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (°C)		
	> -10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	30	25	20
$35 < D \leq 60$	40	30	20
$60 < D \leq 90$	40	30	30
$90 < D \leq 140$	50	40	30
$140 < D$	50	40	30

Tabla 4.20. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios. (Fuente: RITE)

Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (°C)		
	> -10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	50	45	40
$35 < D \leq 60$	60	50	40
$60 < D \leq 90$	60	50	50
$90 < D \leq 140$	70	60	50
$140 < D$	70	60	50

Tabla 4.21. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de circuitos frigoríficos para climatización. (Fuente: RITE)

Diámetro exterior (mm)	Interior edificios (mm)	Exterior edificios (mm)
$D \leq 13$	10	15
$13 < D < 26$	15	20
$26 < D < 35$	20	25
$35 < D < 90$	30	40
$D > 90$	40	50

#### 4.1.5 Condiciones de las instalaciones de iluminación

En esta sección del DB-HE se busca el uso eficiente de las instalaciones de iluminación de los edificios para asegurar el confort lumínico. Las exigencias del mismo, sin embargo, no se aplican a las luces de interior.

Las instalaciones lumínicas de los edificios deben de ser adecuadas a las necesidades del mismo a la par que eficaces energéticamente. Para poder conseguir esto se le exigen 4 condiciones:

- Valores de eficiencia energética de la instalación (VEEI)
- Potencia máxima instalada
- Sistemas de control y regulación
- Sistemas de aprovechamiento de luz natural

El VEEI mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación en un determinado local y se expresa como la relación entre la potencia instalada dividida por el servicio que se da (área iluminada y calidad de esa iluminación medida mediante la iluminancia)

Tabla 4.22. Valor límite de eficiencia energética de la instalación  $VEEI_{lim}$  [W/m<sup>2</sup>]. (Fuente: RITE)

Uso del recinto	VEEI límite
Administrativo en general / Andenes de estaciones de transporte / Pabellones de exposición o ferias	3,0
Salas de diagnóstico <sup>(1)</sup> / Aulas y laboratorios <sup>(2)</sup>	3,5
Habitaciones de hospital <sup>(3)</sup> / Recintos interiores no descritos en este listado / Zonas comunes <sup>(4)</sup> Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas / Aparcamientos / Espacios deportivos <sup>(5)</sup>	4,0
Estaciones de transporte <sup>(6)</sup> / Supermercados, hipermercados y grandes almacenes / Bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
Zonas comunes en edificios no residenciales / Centros comerciales (excluidas tiendas) <sup>(7)</sup>	6,0
Hostelería y restauración <sup>(8)</sup> / Religioso en general / Tiendas y pequeño comercio / Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias <sup>(9)</sup>	8,0
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
Locales con nivel de iluminación superior a 600 lux	2,5

La potencia máxima instalada dependerá del uso que se le dé al espacio:

Tabla 4.23. Potencia máxima por superficie iluminada [ $\text{W/m}^2$ ]. (Fuente: RITE)

Uso	E <i>Iluminancia media en el plano horizontal (lux)</i>	Potencia máxima a instalar ( $\text{W/m}^2$ )
Aparcamiento		5
Otros usos	$\leq 600$	10
	$> 600$	25

Por último, un edificio debe de disponer de sistemas de control y regulación, así como sistemas de aprovechamiento de luz natural.

#### 4.1.6 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria

En esta parte se establecen las condiciones necesarias para satisfacer parte de la demanda de ACS o climatización de piscinas cubiertas mediante el uso de energía procedente de fuentes renovables.

Producir ACS es un proceso relativamente fácil mediante energías renovables ya que se trata de energía térmica a baja temperatura. Sin embargo, el ACS se trata de una necesidad permanente, cuyo porcentaje de consumo respecto a la totalidad del edificio ha ido aumentando con los años, a medida que el resto de consumos energéticos decaían.

Para el cumplimiento de este objetivo se establecen dos exigencias básicas:

- Contribución renovable mínima para ACS y/o climatización del vaso de piscina.
- Sistema de medida de la energía suministrada.

En lo que respecta a la contribución de energía renovable mínima para la demanda de ACS y climatización, esta debe de ser del 60% cuando la demanda anual de ACS sea menor de 5000l/d o del 70% cuando la demanda anual de ACS sea de mayor de 5000l/d.

Además, las bombas de calor destinadas a la producción de dicho ACS tendrán que tener como mínimo un rendimiento determinado para poder considerar su contribución como renovable. Las bombas accionadas eléctricamente deberán de tener un rendimiento medio estacional ( $\text{SCOP}_{\text{dhw}}$ ) igual a 2.5 mientras que las bombas accionadas mediante energía térmica deberán de tener un SCOP igual a 1.15.

#### 4.1.7 Generación mínima de energía eléctrica

En esta última sección del CTE se establece la obligatoriedad de incorporar sistemas de generación de energía eléctrica procedentes de fuentes renovables para uso propio o para suministro a la red a edificios con uso distinto al residencial privado.

Para ello se establece una potencia mínima a instalar la cual está limitada por la superficie de cubierta del edificio, ya que suele ser la zona más habitual de instalación de sistemas de generación.

$$P_{\min} = 0,01 * S, \text{ siempre que no supere la siguiente expresión: } P_{\lim} = 0,05 * S_c$$

$S$  = superficie construida del edificio

$S_c$  = superficie construida de la cubierta del edificio

Figura 4.2. Fórmula de la potencia mínima de instalación. (Fuente: CTE)

## 4.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE CADA UNA DE LAS SOLUCIONES QUE SE PLANTEAN

En la búsqueda de una mayor eficiencia en la vivienda es indispensable el conocimiento del estilo de vivienda Passivhaus. Se trata de un estándar de construcción de viviendas originado en Alemania en los años ochenta que se fundamenta en construir edificios con un gran aislamiento térmico, una máxima calidad del aire interior y una implementación de sistemas que aprovechen la energía del sol de cara a la climatización.

En cuanto al estilo de casas pasivas, en España fue tardía la incorporación del concepto al mercado de la edificación, ya que en 2008 se crea la **Plataforma de Edificación Passivhaus (PEP)** [14], una rama de la International Passive House Association que promueve los edificios pasivos en España. La primera vivienda de este tipo se construyó en nuestro país un año más tarde.

Las casas Passivhaus tienen por lo tanto consumos muy bajos de energía tanto para calefacción como para refrigeración, llegando a poder reducir un 60% el consumo energético. Estas casas evidentemente cuentan con la mejor calificación energética posible y son por lo tanto el modelo de referencia a seguir en esta parte.

### 4.2.1 Estándares Passivhaus

Los edificios Passivhaus consiguen reducir hasta un 75% las necesidades de calefacción y refrigeración, por lo que la energía necesaria para abastecer el resto de elementos de la casa es pequeña, y puede ser suministrada mediante energías renovables.

El diseño de estos edificios se basa en cinco principios básicos:

- Excelente aislamiento térmico
- Ventanas y puertas de altas prestaciones
- Ventilación mecánica con recuperación de calor
- Ausencia de puentes térmicos
- Hermeticidad al aire

Además, el Passive House Institute establece unos criterios mínimos que definen los consumos que se pueden obtener en una casa para poder considerarla pasiva [15]:

- Demanda de calefacción  $<15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Demanda de refrigeración  $<15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Demanda de energía primaria  $<120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Valor de estanqueidad  $<0,6$  renovaciones de aire por hora

Cuanto más cercanos sean los valores objetivo de nuestra casa a los recogidos en los estándares passivhaus mejor será la eficiencia del edificio.

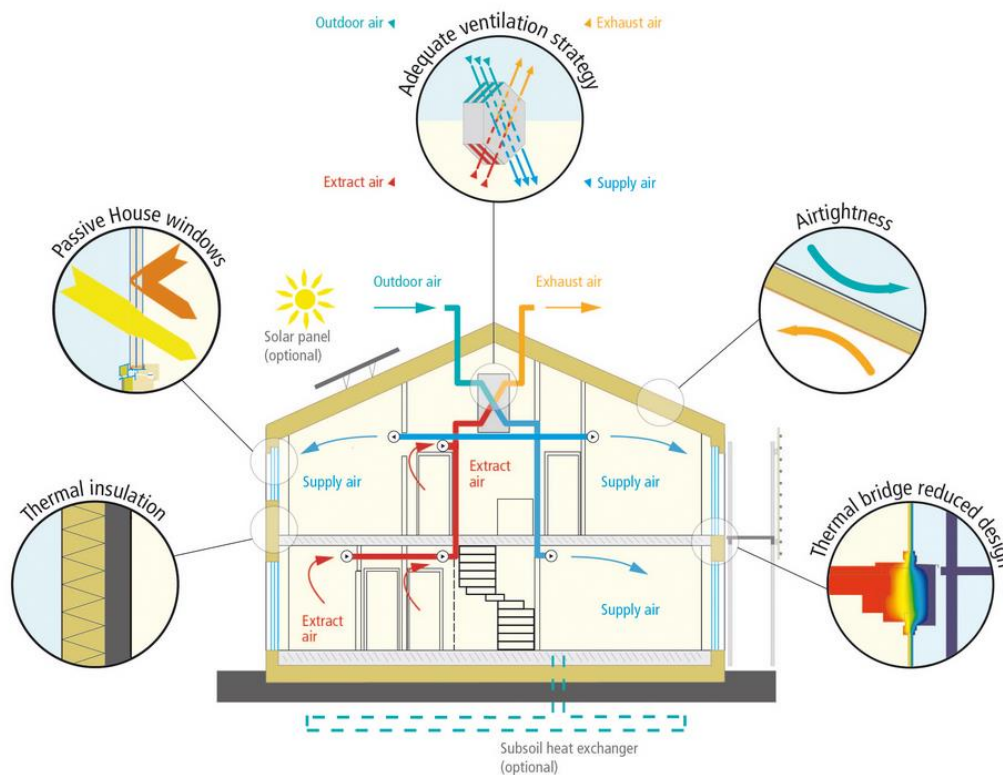


Figura 4.3. Cinco principios de la casa pasiva. (Fuente: Passive House Institute)



#### 4.2.2 Condiciones para el control de la demanda energética

Atendiendo al orden propuesto por el CTE, el primer elemento que se intentará mejorar para conseguir una calidad parecida a la que se encuentra en las casas pasivas es el aislamiento térmico de la envolvente.

Los valores de transmitancia térmica ( $U_{lim}$ ) de los elementos recogidos en el CTE (muros, suelos y cubiertas en contacto con el aire exterior) estipulados por las exigencias Passivhaus varían entre 0,1 y 0,15 W/(m<sup>2</sup>K).

Para calcular las pérdidas de calor asociadas al aislamiento térmico se tiene que multiplicar el valor de transmitancia térmica por el área de la superficie que se va a aislar y la diferencia de temperaturas existente entre interior y exterior.

Para calcular las pérdidas anuales se deberá multiplicar el valor de U por la diferencia de temperaturas medias en el periodo a considerar y por la duración de dicho periodo [16].

De esta forma se pueden ver las grandes diferencias existentes, no solo en pérdidas térmicas sino económicas, en función del valor de U.

Tabla 4.24. Pérdidas energéticas y costes asociados al valor U de un edificio. (Fuente: Passive House Institute)

U-value W/m <sup>2</sup> K	heat loss rate W	annual heating losses kWh/yr	annual costs <sup>3)</sup> external wall only €/yr
1.00	3,300	7,800	515.00
0.80	2,640	6,200	409.00
0.60	1,980	4,700	310.00
0.40	1,320	3,100	205.00
0.20	660	1,600	106.00
0.15	495	1,200	79.00
0.10	330	800	53.00

Para la obtención de valores tan bajos es necesario llevar a cabo un estudio del diseño de la vivienda y también una selección de los materiales y espesores más adecuados.



Tabla 4.25. Ejemplo de cálculo para una casa de 100m<sup>2</sup> con una diferencia de temperatura de 33°C. (Fuente: Passive House Institute)

material	thermal conductivity W/mK	thickness required for U=0.13 W/(m <sup>2</sup> K) m
reinforced concrete	2.3	17.30
solid brick	0.80	6.02
perforated brick	0.40	3.01
softwood	0.13	0.98
porous brick, porous concrete	0.11	0.83
<b>straw</b>	<b>0.055</b>	<b>0.41</b>
<b>typical insulation material</b>	<b>0.040</b>	<b>0.30</b>
<b>high-quality conventional insulation material</b>	<b>0.025</b>	<b>0.19</b>
<b>nanoporous super-insulating material normal pressure</b>	<b>0.015</b>	<b>0.11</b>
<b>vacuum insulation material (silica)</b>	<b>0.008</b>	<b>0.06</b>
<b>vacuum insulation material (high vacuum)</b>	<b>0.002</b>	<b>0.015</b>

Las características térmicas de un material aislante están definidas por cuatro variables:

- Conductividad del material
- Espesor del material
- Densidad del material
- Factor de resistencia a la difusión del vapor

El valor de conductividad, recogido como thermal conductivity en la tabla, depende del tipo de material y en algunas ocasiones del espesor.

Los aislantes tipo PUR, EPS y XPS pueden tener un valor de conductividad entre 0,019-0,053 W/mK y las lanas minerales entre 0,034-0,05 W/mK por lo que los convierten en los materiales más competentes.

Uno de los sistemas más utilizados para acometer el aislamiento de la envolvente del edificio son los paneles sándwich. Estos son unos paneles prefabricados formados por un núcleo interno, compuesto por espumas rígidas de poliuretano (PUR) o poliuretano extruido (XPS), protegido por dos láminas finas y resistentes. De esta forma se consigue un gran aislamiento térmico con un grosor y peso muy reducidos.



Estos paneles estaban originalmente pensados para la cubierta del edificio, aunque con el tiempo se ha desarrollado esta misma tecnología para fachadas, paredes y suelos.

Algunas empresas han obtenido el certificado Passivhaus con este sistema constructivo por lo que las convierte en una opción interesante [17].

Tabla 4.26. Ficha técnica de distintos sistemas Thermochip. (Fuente: Thermochip)

Cara interior	Capa intermedia	Espesor núcleo	Cara exterior	Cámara de aire	Cara interior	Espesor núcleo	Cara exterior	Transmit. térmica CTE DA HE-1	Espesor total	Peso dos paneles
				mm				W/m <sup>2</sup> °C	mm	kg/m <sup>2</sup>
THERMOCHIP WALL (40)				CA	THERMOCHIP SATE (VARIABLE)				DATOS	
15	12	40	12	50	12	40	12	0,323	193	73,18
15	12	40	12	50	12	50	12	0,302	203	73,50
15	12	40	12	50	12	60	12	0,278	213	73,82
15	12	40	12	50	12	80	12	0,240	233	74,46
15	12	40	12	50	12	100	12	0,211	253	75,10
15	12	40	12	50	12	120	12	0,188	273	75,74
THERMOCHIP WALL (50)				CA	THERMOCHIP SATE (VARIABLE)				DATOS	
15	12	50	12	50	12	50	12	0,283	213	73,82
15	12	50	12	50	12	60	12	0,262	223	74,14
15	12	50	12	50	12	80	12	0,228	243	74,78
15	12	50	12	50	12	100	12	0,202	263	75,42
15	12	50	12	50	12	120	12	0,181	283	76,06
THERMOCHIP WALL				CA	THERMOCHIP SATE				DATOS	
15	12	60	12	50	12	60	12	0,244	233	74,46
15	12	80	12	50	12	80	12	0,191	273	75,74

#### 4.2.2.1 Sistemas de almacenamiento térmico en paredes con materiales de cambio de fase

La energía solar puede aprovecharse de dos formas, principalmente, de cara a la mejora de la eficiencia energética de una vivienda. Estas son utilizando la energía solar de forma activa o pasiva. La energía activa se aprovecha mediante sistemas fotovoltaicos o termosolares como veremos más adelante. Sin embargo, existe una solución que permite también aprovechar la energía solar de forma pasiva [18].

Los sistemas de energía solar pasiva convierten la radiación solar en calor utilizando la propia estructura del edificio. Se caracterizan por usar la envolvente del edificio como un absorbedor de energía y el espacio interior como un almacén térmico.



El fundamento de estos sistemas está en la absorción de radiación solar de onda corta, bien por los elementos interiores del edificio o por los elementos estructurales exteriores, la envolvente. Una vez la energía es capturada el calor se libera al interior mediante convección o radiación de onda larga.

Los componentes que conforman los sistemas de aprovechamiento de energía solar pasiva son:

- Cubiertas o tapas transparentes
- Absorbedores
- Almacenes térmicos
- Dispositivos de sombra

### **Cubiertas**

Su función es transmitir la máxima cantidad posible de radiación solar al interior asegurando al mismo tiempo un alto aislamiento del exterior. Esto se puede conseguir mediante un gran valor de factor solar y un pequeño valor de U o transmitancia térmica. Estos elementos pueden ser ventanas o cualquier tipo de hueco transparente.

### **Absorbedor y almacén de calor**

Estos dos elementos están integrados en la estructura del edificio. La envolvente térmica con exposición a la radiación solar sirve como una superficie absorbente, ese calor se transmite a las paredes interiores donde se encuentra instalado un sistema de almacenamiento de calor. Para lograr una mayor absorción de la radiación solar, algunas superficies se cubren con pintura negra.

### **Dispositivos de sombra**

Se puede conseguir una adecuada protección contra los rayos solares de verano, con mayor energía y ángulo de incidencia, sin esto implicar una alta inversión. La sombra deseada se puede conseguir mediante balcones o cualquier otro elemento constructivo.

Para mejorar sus efectos, estos elementos deberán estar orientados hacia el sur, de forma que se consiga sombra en verano y alta radiación solar en invierno, cuando los rayos solares inciden con menor ángulo.

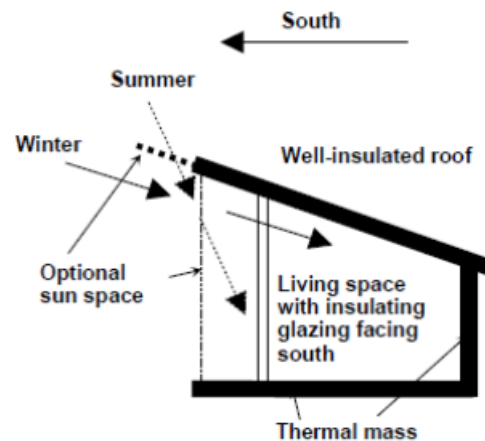


Figura 4.4. Situación óptima de los sistemas de sombreado. (Fuente:

Otra solución para aprovechar la energía solar de forma pasiva y mejorar el confort térmico de la vivienda son los materiales de cambio de fase. Estos materiales añadidos a elementos constructivos ligeros aumentan su inercia térmica acumulando energía en forma de calor latente.

#### ***4.2.2.2 Materiales de cambio de fase para mejorar la eficiencia energética de los edificios.***

Estos materiales, también conocidos como PCM (Phase Change Material) son materiales “inteligentes” cuya propiedad principal es su alto calor latente. El calor latente es la cantidad de energía que necesita una sustancia para cambiar de fase o estado. Esa energía es invertida únicamente en el cambio de fase y no en un aumento de temperatura del elemento. Es el mismo principio utilizado en las bombas de calor.

Los materiales de cambio de estado se aprovechan de esta característica, y absorben o ceden el calor obtenido por el sol cuando alcanzan la temperatura de cambio de fase. De esta forma se consigue aprovechar la energía solar para llevar a cabo la climatización de una estancia, y alcanzar una mayor dependencia de equipos mecánicos de apoyo, reduciendo así el confort energético.

Ya hemos comentado antes la capacidad de los edificios de acumular calor en sus paredes o suelos durante el día para luego liberarlo cuando baja la temperatura. Esto se denomina inercia térmica y depende básicamente de tres propiedades del material que compone el cerramiento:

- Calor específico ( $C_p$ ): Cantidad de calor que es necesario suministrar a un Kg de material para elevar su temperatura un grado.
- Densidad ( $d$ )
- Espesor del cerramiento ( $E$ )

Las viviendas construidas con muros de tierra comprimida, por ejemplo, poseen una gran inercia térmica dadas sus características constructivas (gran espesor y densidad), sin embargo, esta no suele ser la solución más utilizada.

La utilidad de los materiales de cambio de fase aparece cuando se quiere buscar mejorar la inercia térmica de aquellos elementos constructivos ligeros o con poco espesor, como por ejemplo placas de yeso laminadas.

La capacidad de almacenar calor de los cerramientos se puede calcular fácilmente mediante el producto de las tres propiedades mencionadas antes, calor específico, densidad y espesor del cerramiento. Para el cálculo se tomará un espesor de referencia de 20 cm [19].

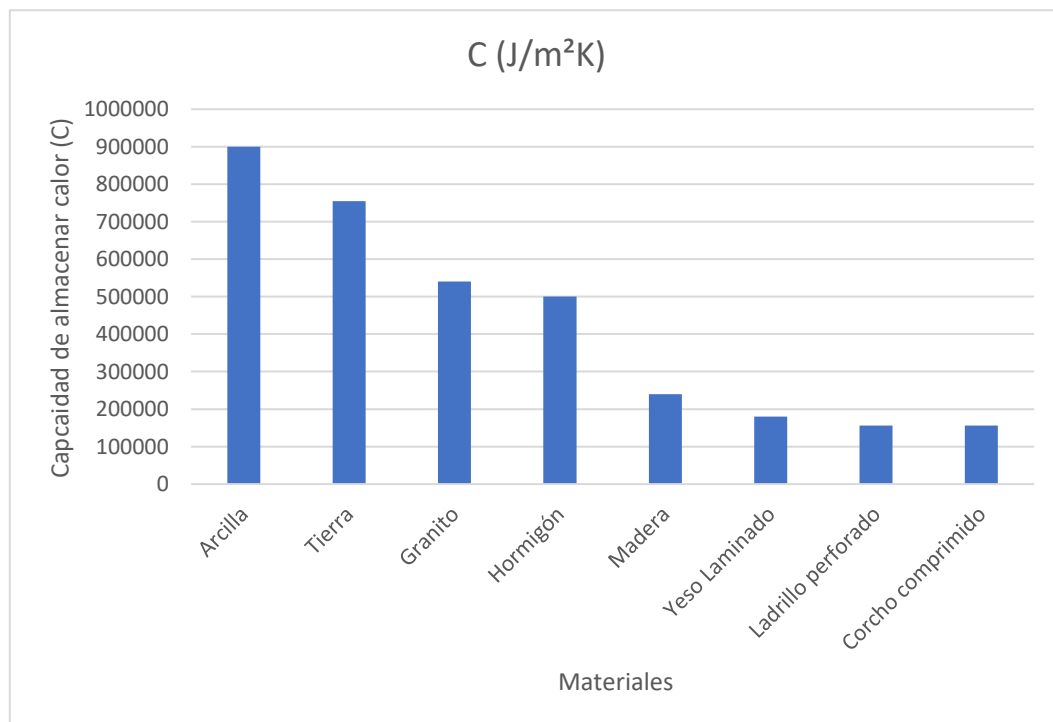


Figura 4.5. Capacidad de almacenar calor de distintos materiales constructivos. (Fuente: CTE)

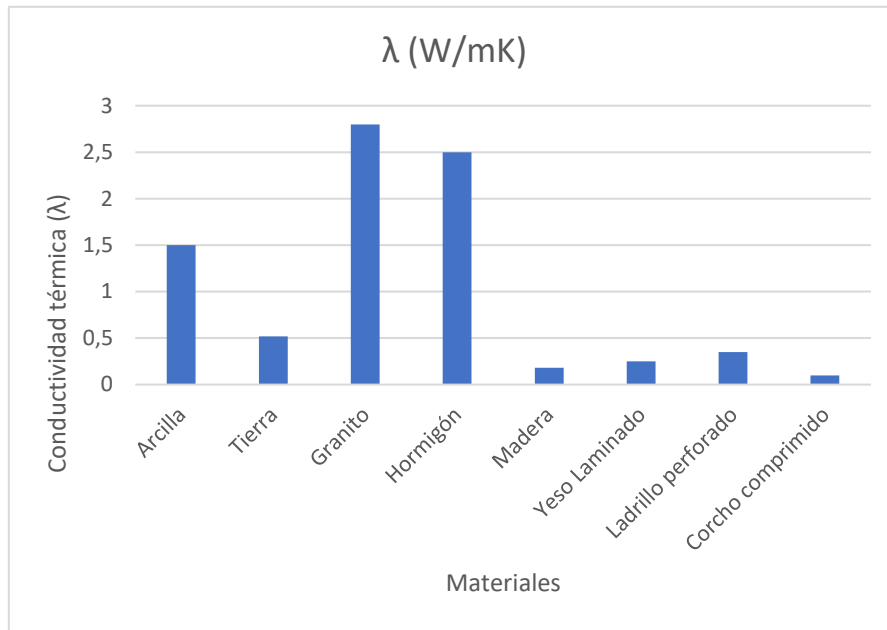


Figura 4.6. Conductividad térmica de los mismos materiales. (Fuente: CTE)

#### **4.2.2.3. Aplicación de los PCM en la edificación.**

Su aplicación en edificios se basa en su acción termorreguladora. Estos compuestos son capaces de responder a las variaciones térmicas del entorno reduciendo las variaciones bruscas de las condiciones térmicas en el interior de edificios.

El funcionamiento varía en función de la estación o momento del día. En periodos de mayor calor en el exterior (verano o durante el día) absorberán este calor y cambiarán de estado sólido a líquido. En invierno o durante la noche, el material empezará a ceder el calor al aire interior durante el cambio de fase de líquido a sólido. Durante estos procesos la temperatura interior será constante.

Los materiales más adecuados para la aplicación de PCM en viviendas serán aquellos cuya temperatura de cambio de fase sea lo más próxima a la temperatura ambiente de confort, 20 o 30°C. En el rango de temperaturas de 20 a 80°C los materiales más utilizados son las ceras de parafina, sales hidratadas, mezclas eutécticas y ácidos grasos [20]. Existe variedad en cuanto a los materiales de cambio de fase, aunque principalmente se clasifican en orgánicos e inorgánicos.

Los compuestos inorgánicos como las sales hidratadas son generalmente baratos, con una densidad de almacenamiento térmico elevada y una gran conductividad térmica. Sin embargo, requieren de una preparación y mantenimiento especial durante su vida y son potencialmente corrosivos en contacto con algunos metales.

Dentro de los compuestos orgánicos encontramos parafinas, ácidos grasos y mezclas orgánicas. Estos son más fáciles de usar ya que poseen una mayor estabilidad térmica y química. Además, no requieren de ningún tratamiento o mantenimiento especial y no son corrosivos. Por el otro lado presentan grandes cambios de volumen durante el cambio de fase, y sus características térmicas son peores.

Los PCM pueden ser incorporados en distintos materiales constructivos como hormigón, cemento, yeso, madera o ladrillo mediante tres métodos de integración:

- Incorporación directa
- Encapsulado
- Inmersión

La mayoría de sistemas ofertados son de incorporación por encapsulado ya que presenta más ventajas. Estos pueden ser microencapsulados o macroencapsulados.

Aunque se trate de un sistema relativamente novedoso muchas empresas ya comercializan estos productos para su uso en el sector residencial privado. Entre ellos destacamos los sistemas de Micronal (BASF Microtek) y BioPCM para paredes y suelos, o GLASSX para los vidrios de las ventanas.

#### **4.2.2.4 Sistemas de materiales de cambio de fase**

Micronal PCM es un material de cambio de fase acrílico que permite combinar las ventajas de la arquitectura moderna y la eficiencia de la de la construcción ligera con el uso y el efecto compensador de la capacidad de almacenamiento térmico de los materiales [21]. Micronal PCM contribuye a mejorar el clima interior, a crear condiciones de vida más confortables y a mejorar la eficiencia energética, gracias a una gestión inteligente de la temperatura.

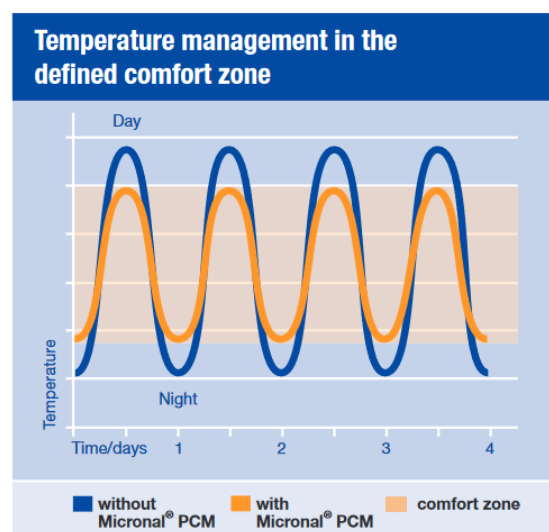


Figura 4.7. Gestión de la temperatura con el sistema Micronal. (Fuente: BASF)

Micronal PCM es un material de cambio de estado el cual lleva a cabo el cambio de sólido a líquido en un rango de temperaturas comprendido entre la temperatura interior y la temperatura de confort térmico (21-23°C).

Micronal está formado por microcápsulas de 5µm de diámetro que en su interior poseen un material capaz de absorber calor latente. En este caso el material está formado por una mezcla de ceras.

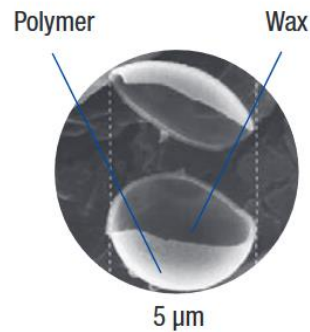


Figura 4.8. Microcápsula Micronal. (Fuente: BASF)

Mientras que el calor latente se acumula de forma autónoma cuando se supera la temperatura de cambio de estado del material interior, la descarga del calor se produce gracias a ventilación natural, ventilación mecánica o refrigeración convencional.

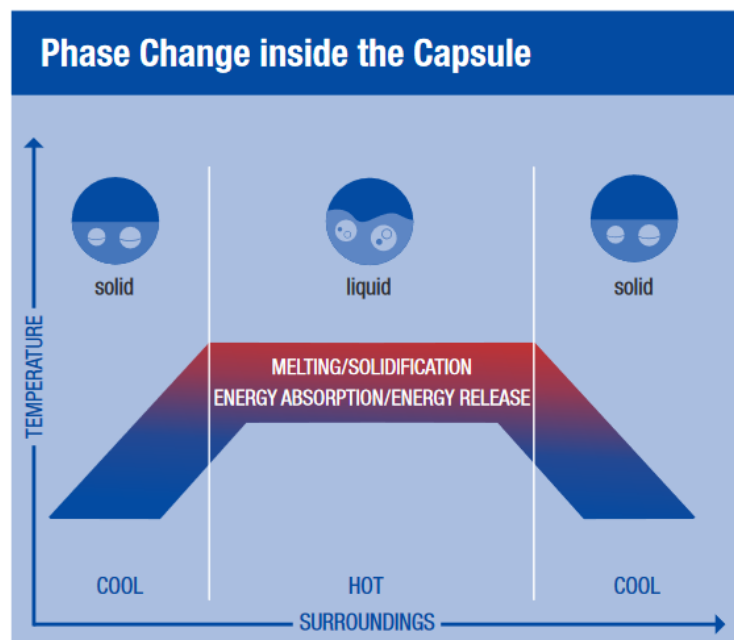


Figura 4.9. Funcionamiento de Micronal. (Fuente: BASF)



Las ventajas de tener un PCM microencapsulado son las siguientes:

- El producto permanece siempre seco.
- El cambio de fase, y por lo tanto de volumen, se produce en el interior de la cápsula. Esto permite que el material implicado no sufra cambios de tamaño.
- Son fácilmente integrables en el material de construcción.
- Son prácticamente indestructibles mecánicamente.

La incorporación de los PCM Micronal se puede llevar a cabo de diferentes formas, en función del tipo de material de cambio de estado [22].

Tabla 4.27. Propiedades de Micronal 24S. (Fuente: BASF)

Typical Properties	
Appearance	White to slightly off-white color
Form	Slurry (43% $\pm$ 1 solids)
Particle size (mean)	ca 1–5 micron
Melting point	24°C, $\pm$ 2C°
Heat of fusion	105 J/g

Tabla 4.28. Propiedades de Micronal 24D. (Fuente: BASF)

Typical Properties	
Appearance	White to slightly off-white color
Form	Dry powder ( $\geq 98\%$ solids)
Particle size (mean)	ca 50 – 300 micron
Melting point	$24^{\circ}\text{C}, \pm 2^{\circ}\text{C}$
Heat of fusion	105 J/g

Estos dos PCM de Micronal pueden ser implementados en forma de placa de yeso, conocido comercialmente como Knauf Comfortboard. Cada metro cuadrado de este producto contiene tres kilogramos de Micronal. Según el fabricante la capacidad calorífica de una pared equipada con dos capas de 15mm de Micronal se puede comparar con una pared de 14 cm de cemento o un muro de 36,5 cm de ladrillo, en términos de aislamiento térmico.

En el caso de BioPCM el funcionamiento es el mismo, aunque el cambio de fase realizado es distinto [23]. Mientras el resto de PCM's llevan a cabo un cambio de fase entre sólido y líquido, el material de BioPCM también cambia entre los estados de sólido a gel. Los materiales que componen BioPCM también cambian ya que no utilizan parafinas o ceras sino una mezcla de productos de desecho derivada del proceso de fabricación de aceites de soja, palma o coco. Estos esteres grasos ácidos se mezclan luego con un agente espesante a escala nanométrica formado a base de trozos esféricos de sílice.

El resultado final es un gel que está contenido dentro de una multitud de bolsas instaladas en un rollo flexible de plástico.



Figura 4.10. Presentación del producto BioPCM. (Fuente: PCM Solutions)

Los suelos y las paredes no son los únicos productos de construcción que utilizan materiales de cambio de fase. Una de las incorporaciones más novedosas de los PCM es el producto Crystal de GlassX que, según la empresa, "permite sustituir las paredes sólidas por elementos de vidrio". Crystal es esencialmente una ventana de cristal con acristalamiento cuádruple entre cuyos cristales hay un PCM translúcido de hidrato de sal.

La unidad de acristalamiento, de 79 mm de grosor, absorbe "aproximadamente la misma cantidad de energía que un muro de hormigón 24 cm de espesor". Además, con el PCM en su estado cristalino, el panel transmite hasta un 28% de la luz visible, y hasta un 45% en su fase líquida.

#### 4.2.2.5 Ventanas

Como ya se ha visto los huecos en un edificio suponen una pérdida de la carga térmica del mismo. Para poder obtener un gran aislamiento térmico de los huecos no sólo es importante la elección de una ventana eficiente sino también una optimización de los sistemas de sellado más adecuados. Además, se tendrá que tener en cuenta la correcta instalación de ambos sistemas.

Para conseguir esto se pueden aplicar selladores a las juntas de dilatación, evitando la transferencia de energía, como la goma, espuma o silicona.

La selección del material de la ventana también es importante. Los marcos de PVC tienen los mejores valores de transmitancia térmica del mercado llegando a tener valores de  $U = 1(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$ . Las ventanas de triple acristalamiento tienen las mejores prestaciones, con valores de  $U$  entre 1,3 y  $0,6 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ .

El último aspecto que hay que considerar es la elección del sistema de apertura de la ventana. Existen básicamente dos sistemas, el abatible y el corredero.

El primero de ellos es el más eficiente ya que se basa en un sistema de cierre a presión que limita la filtración de temperatura.

En la actualidad existen ventanas con certificado Passivhaus que alcanzan valores de transmitancia térmica apropiados para cumplir los estándares de vivienda pasiva [24].

Uno de los sistemas en cuestión es el KÖMMERLING76, un sistema de cerramiento de 76 milímetros con una transmitancia térmica de  $U = 0,73 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Esta ventana cuenta con 5 cámaras de aire estanco y puede incluir un cajón de persiana diseñado para evitar las infiltraciones, ya que esta zona es más susceptible de sufrir pérdidas de calor [25].

Tabla 4.29. Ficha técnica del sistema Kömmerling76 (Fuente:

**CÁLCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA.** Según UNE EN 10077-2.

TIPO VIDRIO	$U_i \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$	VIDRIO		Ventana sin persiana
SISTEMA		$U_g \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$	$\psi_g \text{ (Psi)}$	$U_v \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
KÖMMERLING76 AD XTREM	1,2	1	0,06	1,21
		0,8	0,06	1,07
		0,6	0,032	0,87
	1,11	0,5	0,032	0,76



Figura 4.11. Foto del sistema Kömmerling76 (Fuente: Kömmerling)

Para mejorar el aislamiento térmico de los huecos es tan importante la ventana como llevar a cabo un sellado correcto de la misma. Para el sellado de la ventana existe una gran oferta de productos, aunque los más utilizados son cintas adhesivas que permiten el sellado hermético permanente.

La cinta Fentrim 20 es uno de estos sistemas. Se trata de una cinta que aísla térmicamente los encuentros entre huecos y distintos soportes como:

- Madera
- Metal
- Plástico
- Hormigón
- Mampostería
- Mortero
- Placas aislantes

Está disponible en varios formatos en función de la longitud o anchura del rollo y posee unas propiedades que la convierten en una solución muy interesante. Posee un rango de resistencia de temperaturas muy elevado, yendo desde -40 hasta los 100°C y una gran resistencia al envejecimiento. Esto se debe a que, al no contener caucho ni resina, posee una alta duración de la fuerza de pegado y tampoco puede secarse o agrietarse.

#### **4.2.2.6 Puentes térmicos**

El CTE define los puentes térmicos como aquellas zonas de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción que conlleva una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

Los efectos de los puentes térmicos incluyen una disminución de la temperatura interior, penetración de humedad en la vivienda y en general pérdidas de calor.

Para disminuir el efecto asociado a los puentes térmicos se puede llevar a cabo un diseño libre de los mismos. Para ello las capas de aislamiento deben disponerse de forma que se pueda trazar el grosor mínimo de aislamiento de toda la envolvente exterior de forma continua.

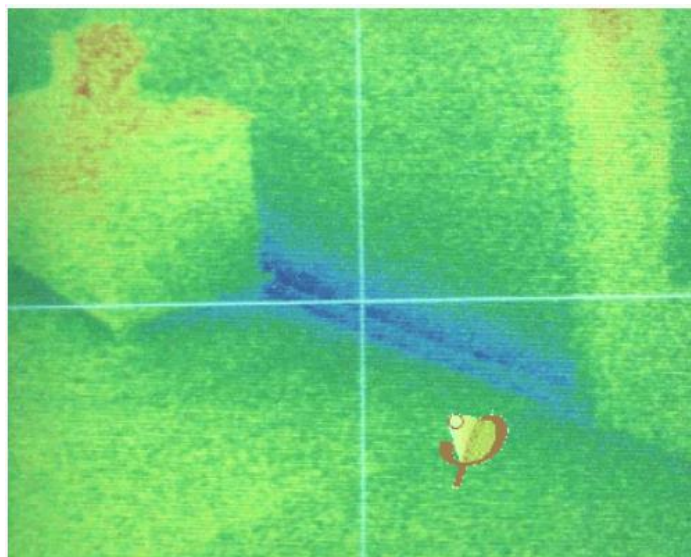


Figura 4.12. Puente térmico observado con cámara térmica. (Fuente: Passive House Institute)

Un edificio nuevo que no se construye de acuerdo al principio de diseño sin puentes térmicos puede sufrir considerables pérdidas de calor como consecuencia de los mismos. En varios ejemplos de proyectos de construcción, se produjo un aumento de la demanda anual de calefacción de hasta 14 kWh/(m<sup>2</sup>a) [26].

Además, el propósito del diseño libre de puentes térmicos es conseguir una mejora en los detalles del aislamiento. Una mejora sustancial ligeramente más cara de los detalles de conexión es preferible a un nuevo cálculo en detalle de las conexiones menos adecuadas, ya que pueden resultar igual de costosos.

Por lo tanto, en un proyecto de construcción, una planificación cuidadosa con respecto a los puentes térmicos puede ser decisiva para obtener una eficiencia energética elevada



#### **4.2.3 Condiciones de las instalaciones térmicas**

Los sistemas más utilizados en las casas pasivas, y por lo tanto los que mejores prestaciones energéticas ofrecen son los de bomba de calor. Dentro de estas hemos visto que existen las bombas de calor aire-aire, aire-agua y agua-agua.

La utilización de los diferentes sistemas, aerotermia o geotermia dependerá de muchos factores como la localización y el tipo de vivienda. Una vivienda situada en una zona climática extrema podría disponer de un sistema de aerotermia, sin embargo, no llegará a ofrecer la potencia suficiente. En cuanto a los gastos de la instalación la aerotermia es mucho más barata ya que es solo necesaria la instalación de un sistema de ventilación. En cambio, con la geotermia se necesitará mover tierra y perforar el terreno para poder llevar a cabo la captación de energía.

Por otro lado, una instalación de geotermia no necesitará de mantenimiento alguno de su equipo subterráneo una vez se haya instalado, el resto del equipo tendrá un mantenimiento igual en sistemas de aerotermia o geotermia.

En definitiva, un sistema de aerotermia es suficiente para conseguir una eficiencia energética elevada y no supone un coste de inversión inicial tan alto, pero no es el sistema más adecuado para climas adversos.

##### **4.2.3.1 Sistema de Aerotermia**

El equipo combina ventilación con una bomba de calor, lo que permite ofrecer 4 funciones: ventilación, calefacción, refrigeración y ACS. Este sistema cuenta con dos variantes dependiendo de si se busca abastecer de ACS o no, en ambos casos PKOM4 tiene una huella de 75m<sup>2</sup> [27].

La versión PKOM4 “classic” dispone de un depósito de ACS suficiente para abastecer una familia de 4 personas, generando el calor necesario gracias a una bomba de calor de alto rendimiento. Otra bomba de calor se encargará de calentar o enfriar el aire de impulsión dependiendo de la demanda. De esta forma se consigue la climatización de un espacio de hasta 130m<sup>2</sup>.

La versión PKOM4 “trend” carece de tanque de ACS y por lo tanto de su bomba de calor, por lo que es el mejor sistema cuando se disponga de ACS centralizado.



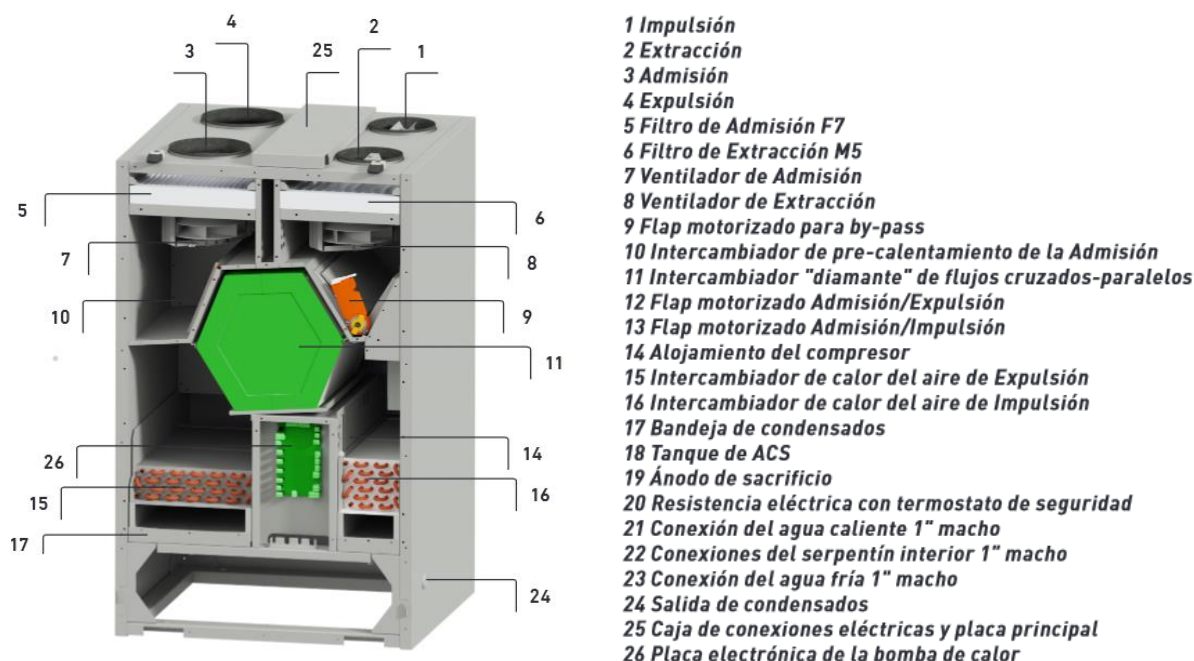


Figura 4.13. Partes del sistema PKOM4 trend. (Fuente: Pichler)

Tabla 4.30. Especificaciones técnicas de ventilación del sistema PKOM4 trend. (Fuente: Pichler)

	PKOM <sup>4</sup> trend
Caudal de aire	85 – 300 m <sup>3</sup> /h variable
Número de velocidades	4
Máxima pérdida de carga a caudal máximo	> 200 Pa
Rango admisible de temperaturas exteriores	-15 bis +40 °C
Potencia máxima de calefacción. Bomba de calor con A2 y caudal máximo	1.300 W
Potencia máxima de refrescamiento. Bomba de calor con A35 y caudal máximo	1.300 W
Tipo de refrigerante	R134a
Carga de refrigerante	1.000 g
VALORES REFERIDOS A LA NORMA EN13141-7	
Caudal nominal	175 m <sup>3</sup> /h
Factor de eficiencia del intercambio nt (estándar/entálpico)	88 / 84 %
Potencia de entrada específica SEL (estándar/entálpico)	0,31 / 0,27 W/(m <sup>3</sup> /h)
Estanqueidad externa/interna	1,64% / 0,48%
COP en calefacción con A7 incluyendo WRG	6,8
COP en refrescamiento con A35 incluyendo WRG	4,2



Tabla 4.31. Parámetros eléctricos del sistema PKOM4 trend. (Fuente: Pichler)

	PKOM <sup>4</sup> trend
Tensión - Frecuencia de suministro	230V ~ 1/50 Hz
Consumo máximo (W)	750
Corriente máxima (A)	3,8
Diferencial	Tipo A – sensible a la corriente
Fusible	C16A

Además, este sistema está certificado por el instituto Passivhaus, y cuenta con una eficiencia energética excelente.

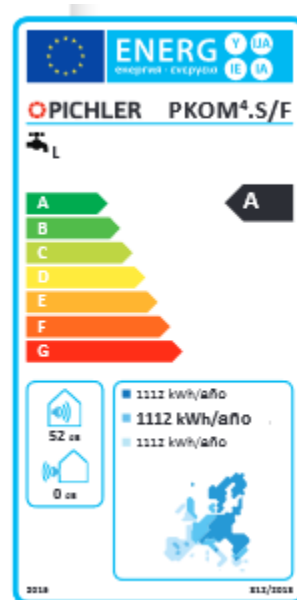


Figura 4.14. Etiqueta energética del sistema PKOM4 trend. (Fuente: Pichler)

#### 4.2.3.2 Sistema de Geotermia

El sistema compact P GEO se trata de una bomba de calor similar a la anterior, cuenta con función de ventilación, calefacción y producción de ACS, pero a diferencia del resto de sistemas utiliza la energía almacenada dentro de la tierra. De esta forma se consigue ser autosuficiente mediante el uso de energías renovables y se puede prescindir del suministro habitual de calefacción.

Este sistema cuenta con varias versiones en función de la potencia de la bomba, variando desde los 3kW hasta los 9kW [28].

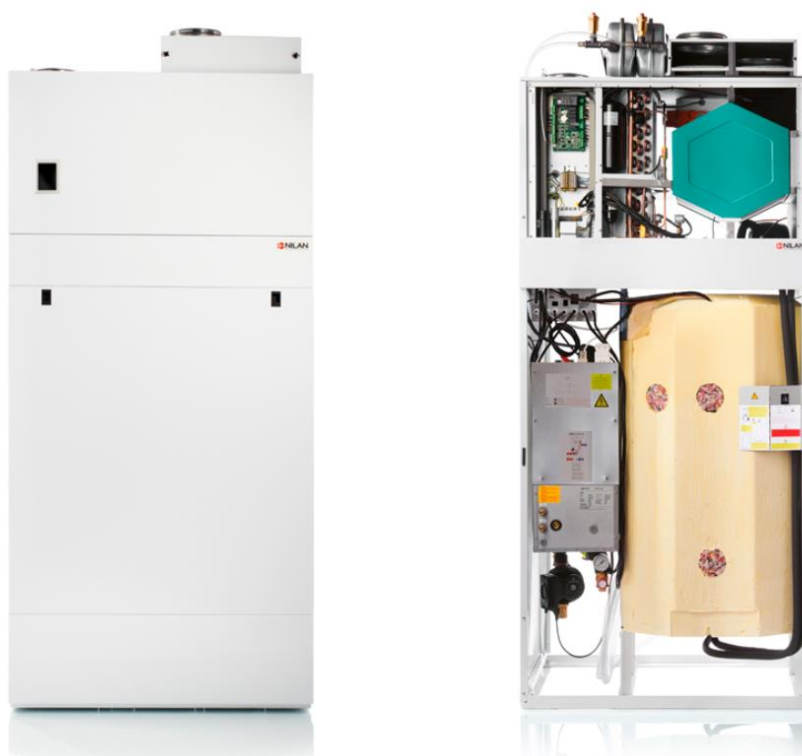


Figura 4.15. Sistema Nilan Compact P GEO. (Fuente: Nilan)

Tabla 4.32. Parámetros técnicos del sistema Compact P GEO. (Fuente: Nilan)

Dimensions (W x D x H)	900 x 610 x 2065 mm
Weight	202 kg
Plate type casing	Aluzinc steel plate, white powder coating RAL9016
Heat exchanger type	Polyethyleneterephthalat counterflow heat exchanger
Fan type	EC, constant rotation
Filter class	ISO Coarse >90% (G4)
Duct connections	Ø 160 mm
Condensate drain	PVC, Ø 20x1,5 mm
Refrigerant	R134a
Refrigerant filling	2 kg
Capacity SHW tank	180 L
Supplementary electrical heating (sanitary hot water)	1,5 kW
Connection dimension	3/4"

Supply voltage	230 V (+10 %), 50/60 HZ
Max. input/power (*1)	2,2 kW/ 9,6 A
Max. input/power (*2)	3,4 kW/14,8 A
Tightness class	IP31
Standby power	3 W
Ambient temperature	-20/+40 °C
Power consumption build-in preheating element (Polar)	1,2 kW
External leakage (*3)	< 1,4%
Internal leakage (*4)	< 1,1%

\*1 Input without heating element (accessory).

\*2 Input Compact Polar

\*3 At ± 250 Pa and 265 m³/h according EN 308/EN 13141-7.

\*4 At ± 100 Pa and 265 m³/h according EN 308/EN 13141-7.

Tabla 4.33. Parámetros de la producción de agua caliente del sistema Compact P GEO. (Fuente: Nilan)

Consumer profile, water heater	L (large)
Energy efficiency class	A
Energy efficiency for water heating - average climate	94 %
Annual electricity consumption - average climate	1081 kWh/annum
Temperature settings on the thermostat	10 - 65 °C
Sound power level $L_{WA}$	46 dB(A)
The water heater can function outside peak load periods (Smart-grid)	No
Guidelines for assembly, installation and maintenance	See installation instructions
Energy efficiency for water heating - cold climate	94%
Energy efficiency for water heating - warm climate	94%
Annual electricity production - cold climate	1081 kWh/annum
Annual electricity consumption - warm climate	1081 kWh/annum

#### 4.2.4 Condiciones de las instalaciones de iluminación.

El CTE establece un valor mínimo de eficiencia energética de iluminación en la vivienda de 4. Dicho valor puede ser mejorado fácilmente, y sin suponer un coste elevado, mediante la sustitución de las luminarias por otras más eficientes.

La luminaria más apropiada dada su gran eficiencia y duración son las bombillas LED. Estas bombillas han ido ganando importancia en el mercado internacional ya que consumen un 80% menos de energía, apenas aportan calor y tienen un precio asequible.

Cabe destacar que, aunque los consumos asociados a la iluminación en la vivienda no son elevados, una inversión en la sustitución de las luminarias puede suponer un ahorro importante en la factura eléctrica cada mes, por lo que es una medida imprescindible para mejorar la calidad de nuestra vivienda.

Respecto al cuidado del medioambiente, la sustitución de bombillas tradicionales por otras de bajo consumo también supone un ahorro energético importante. REE estima un ahorro diario (en empresas y hogares) de alrededor de 32 millones de kWh, equivalente a consumo de 3,5 millones de hogares en un día.

En cuanto a las emisiones diarias de CO<sub>2</sub> evitadas, la implantación de bombillas de bajo consumo supondría un total de 5052 toneladas de CO<sub>2</sub>.

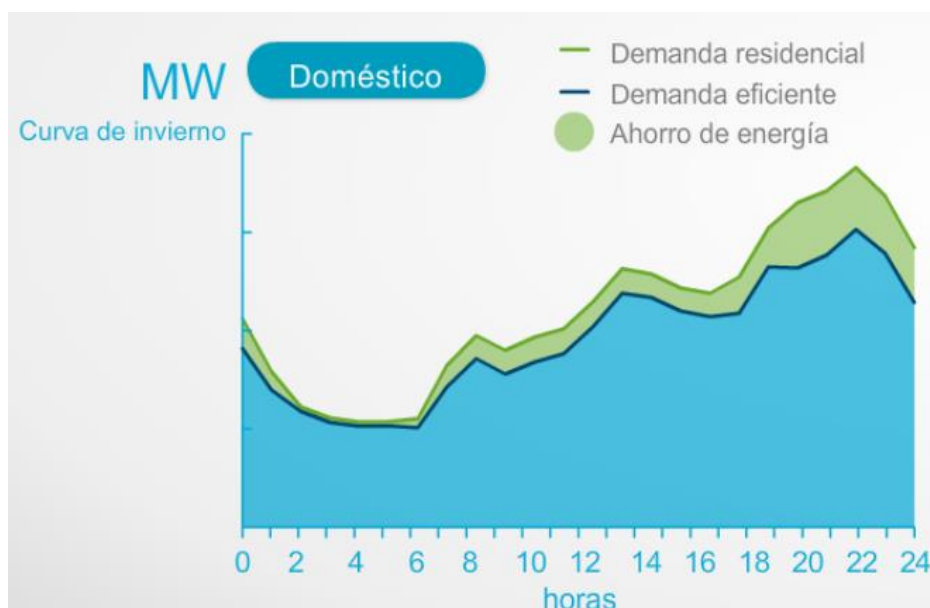


Figura 4.16. Variación en la demanda energética de los hogares según el tipo de luminaria. (Fuente: REE)

#### 4.2.5 Electrodomésticos

Otro apartado que hay que considerar para poder limitar el consumo energético de la vivienda son los electrodomésticos. El DB-HE del CTE no contempla en sus apartados nada referido a los electrodomésticos en la vivienda, y como ya hemos visto, estos suponen un gran porcentaje del consumo de la misma.

Tabla 4.34. Consumo de energía por usos en España. (Fuente: EUROSTAT/IDAE)

Unidad: ktep	España		Pisos		Unifamiliares	
<b>Calefacción</b>	6.892	47,0%	2.529	32,2%	4.349	63,9%
<b>Agua caliente sanitaria</b>	2.776	18,9%	2.038	26,0%	729	10,7%
<b>Cocina</b>	1.090	7,4%	644	8,2%	447	6,6%
<b>Refrigeración</b>	123	0,8%	79	1,0%	44	0,7%
<b>Iluminación</b>	606	4,1%	413	5,3%	193	2,8%
<b>Electrodomésticos</b>	3.188	21,7%	2.149	27,4%	1.039	15,3%
Frigoríficos	975	6,6%	675	8,6%	300	4,4%
Congeladores	193	1,3%	81	1,0%	112	1,6%
Lavadoras	378	2,6%	263	3,4%	114	1,7%
Lavavajillas	193	1,3%	125	1,6%	68	1,0%
Secadoras	107	0,7%	65	0,8%	42	0,6%
Horno	263	1,8%	181	2,3%	82	1,2%
TV	388	2,6%	259	3,3%	129	1,9%
Ordenadores	237	1,6%	163	2,1%	74	1,1%
Stand-by	341	2,3%	247	3,1%	95	1,4%
Resto Electrodomésticos	112	0,8%	90	1,1%	22	0,3%
<b>TOTAL</b>	<b>14.676</b>	<b>100%</b>	<b>7.851</b>	<b>100%</b>	<b>6.800</b>	<b>100%</b>

Tabla 4.35. Consumo de electricidad por servicio. (Fuente: EUROSTAT/IDAE)

Usos finales	Estructura del consumo eléctrico (%)
CALEFACCIÓN	7,4%
ACS	7,5%
COCINA	9,3%
REFRIGERACIÓN	2,3%
ILUMINACIÓN	11,7%
ELECTRODOMÉSTICOS	61,8%
Frigoríficos	19,0%
Congeladores	3,7%
Lavadoras	7,3%
Lavavajillas	3,7%
Secadoras	2,1%
Hornos	5,1%
Televisores	7,5%
Ordenadores	4,6%
Stand-by	6,6%
Otros equipamientos	2,2%
<b>TOTAL CONSUMO ENERGÍA FINAL</b>	<b>100,0</b>

En cuanto a la penetración de la eficiencia energética de los electrodomésticos esta es muy variable, aunque la tendencia nacional es que la mayoría de los electrodomésticos cuenten con una eficiencia mejorable.

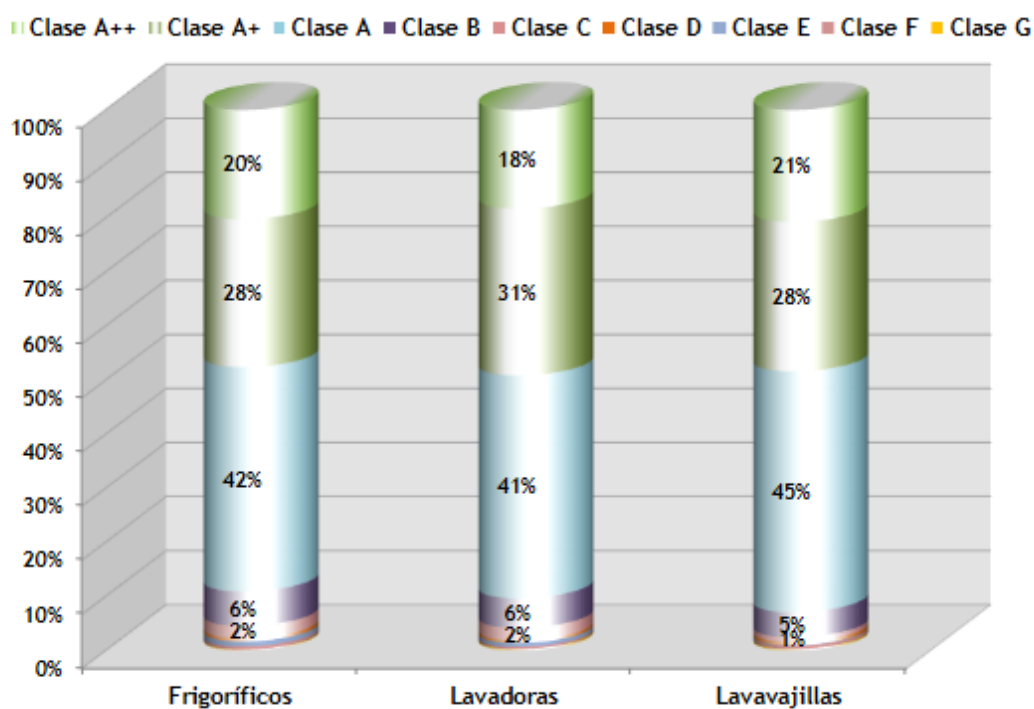


Figura 4.17. Clasificación energética conocida de los electrodomésticos. (Fuente: EUROSTAT/IDAE)

#### 4.2.6 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria

Tal y como se recoge en el DB-HE 4, los edificios deben de satisfacer sus necesidades de ACS y climatización, empleando en gran medida energía procedente de fuentes de energía renovables, bien generadas en el propio edificio o bien a través de la conexión a un sistema urbano de calefacción.

La contribución mínima de energía renovable establecida por el documento depende en función de la demanda de ACS diaria. El DB-HE recoge en el Anejo F un método de cálculo de la demanda diaria media de ACS, que dependerá del número de dormitorios.

Tabla 4.36. Relación entre el número de dormitorios y personas. (Fuente: CTE)

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

##### 4.2.6.1 Captador solar térmico

Una de las posibles soluciones para la obtención de ACS a partir de fuentes de energía renovables son los captadores solares térmicos. Un captador solar térmico, también conocido como colector solar, es un dispositivo que nos permite aprovechar la energía termosolar.

Se pueden definir como una especie de intercambiadores de calor que transforman la energía de la radiación solar a energía interna del fluido de transporte. El funcionamiento es sencillo, estos aparatos absorben la radiación solar incidente y la convierten en calor, el cual se transfiere al fluido, que puede ser aire, agua o aceite. Posteriormente este fluido cede su calor al agua recogida en el depósito correspondiente, para poder así obtener el ACS.

Existen distintos sistemas, que se clasifican en función de los siguientes parámetros:

- La captación de radiación solar: Con concentración o sin concentración.
- El movimiento: Estacionarios, sobre un eje, sobre dos ejes o siguiendo la trayectoria solar.
- La temperatura de trabajo: Temperatura baja, media o alta.

Los distintos captadores disponibles en el mercado combinan todos estos elementos de forma que su construcción, características y componentes varían adaptándose mejor cada uno a una situación determinada.

Los captadores más utilizados para la obtención de ACS en las viviendas son los denominados “**Flat-plate collectors**” (FPC) o colector solar plano. Estos son colectores planos estacionarios, que trabajan en un rango de temperaturas de entre 30 y 80°C, perfectos para la generación de ACS [27].

Tabla 4.37. Distintos tipos de colectores solares. (Fuente: Apuntes de la asignatura UC)

Motion	Collector Type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	1	30-80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50-200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1-5	60-240
Single-axis Tracking	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10-40	60-250
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	15-45	60-300
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	10-50	60-300
Two-axes Tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	100-1000	100-500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	100-1500	150-2000

Un sistema FPC normalmente está formado por los siguientes componentes:

- Acristalamiento: Una o varias láminas de material transmisor de radiación (vidrio).
- Tubos: Conductos que dirigen el fluido de trabajo del exterior al interior.
- Placas absorbentes: Unas placas lisas u onduladas que absorben la radiación solar y sobre las cuales están instalados los tubos.
- Aislamiento: Sirve para minimizar las pérdidas de calor de la parte lateral y trasera del colector.
- Carcasa: Es el armazón que envuelve al resto de componentes para mantenerlos libres de polvo, humedad, etc. Los protege contra las inclemencias climáticas.

Una característica importante del acristalamiento o cubierta es su transparencia. Estas láminas de vidrio han de ser capaces de reducir las pérdidas de calor asociadas a la convección y radiación producidas en el interior del colector, pero sin embargo tienen que almacenar la radiación emitida por las placas absorbentes.

Es decir, la utilización de un material como el vidrio no es trivial, ya que este es capaz de absorber la radiación solar, pero no de dejarla salir de la carcasa. Lo que se consigue así es una optimización de la radiación solar mediante la creación de un efecto invernadero.

En cuanto a la orientación de los colectores estos deben ser orientados siempre hacia el ecuador, lo que implica orientarlos al sur en el hemisferio norte y orientarlos al norte en el hemisferio sur. El ángulo de inclinación óptimo será igual a la latitud de la localización, con variaciones de ángulo comprendidas entre 10-15°[29].



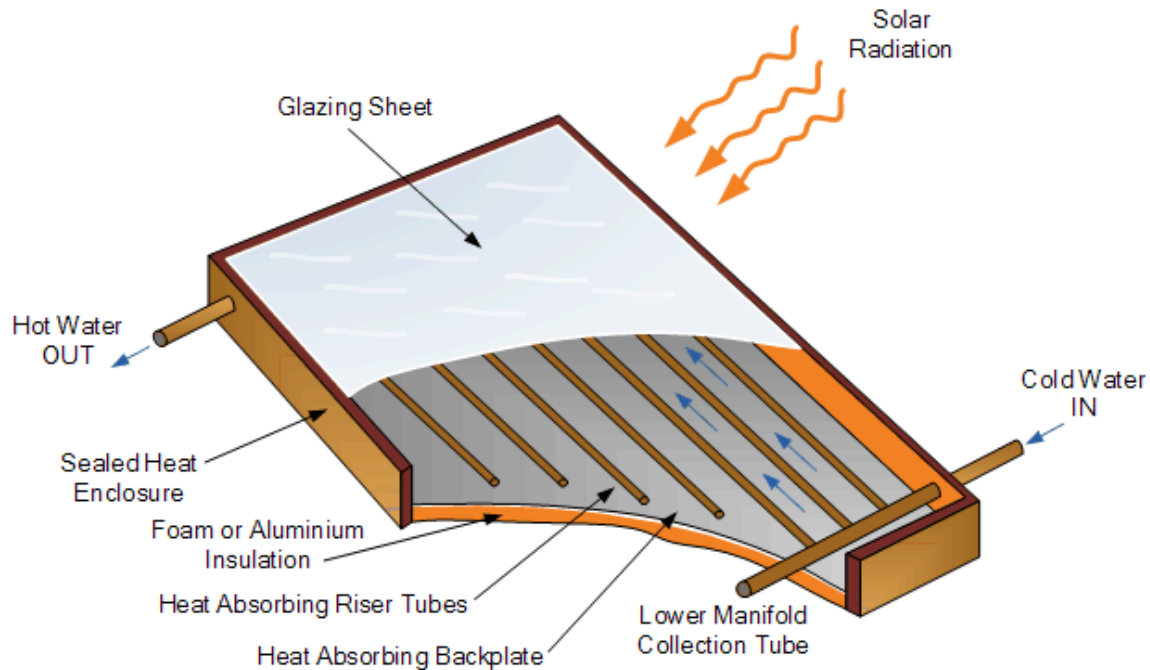


Figura 4.18. Componentes de los colectores solares. (Fuente: [www.alternative-energy-tutorials.com](http://www.alternative-energy-tutorials.com))

El otro elemento a tener en cuenta es el depósito de acumulación. La energía solar no está disponible de igual manera a lo largo del año, dependiendo mucho de la inclinación y orientación del colector, así como de las características climáticas de su localización, si es un clima más nublado o menos. Por otro lado, la energía solar no es capaz de calentar el agua del circuito a la temperatura de trabajo instantáneamente, por lo que es necesaria la instalación de un depósito de agua con capacidad suficiente.

Existen dos alternativas, instalar el depósito junto con el colector, de forma que quede en la cubierta, o disponer de un depósito independiente en el interior del edificio.

El sistema de termosifón está compuesto por uno o varios colectores solares unidos a un depósito de almacenamiento en la misma estructura. El funcionamiento de este sistema se basa en la convección natural, en la cual los fluidos calientes al tener menor densidad que los fríos, fluyen hacia la parte inferior, mientras que el fluido frío asciende. En este sistema no hay posibilidad de controlar los flujos.

En los sistemas de circulación forzada los colectores siguen instalados en la cubierta, pero el depósito se encuentra en el interior.

El inconveniente de este tipo de sistemas es que la circulación del fluido caloportador desde el depósito al colector se tendrá que realizar mediante una bomba. Sin embargo, la eficiencia de este sistema es mayor, ya que, al estar el depósito en el interior, es menos susceptible de sufrir pérdidas de calor.

Existen colectores que se vacían cuando la bomba de circulación se para, evitando así que el fluido de trabajo se congele.



Figura 4.19. Colector solar con sistema de termosifón. (Fuente: Shutterstock)

#### 4.2.7 Autoconsumo

Una buena opción para reducir la factura eléctrica es apostar por un sistema fotovoltaico. El CTE proporciona la siguiente fórmula, que, de forma orientativa, indica la potencia a instalar:

$$P_{\min} = 0,01 * S, \text{ siempre que no supere la siguiente expresión: } P_{\lim} = 0,05 * S_c$$

S= superficie construida del edificio

S<sub>c</sub>= superficie construida de la cubierta del edificio

Figura 4.20. Fórmula de la potencia mínima de instalación. (Fuente: CTE)

##### 4.2.7.1 Instalación solar fotovoltaica.

Como ya comentamos antes, los sistemas de captación de energía solar son muy solicitados en España ya que contamos con una de las mayores tasas de irradiación solar, y por lo tanto de potencial fotovoltaico, de Europa.

El norte peninsular presenta peores características climáticas para el aprovechamiento de la energía solar, en el caso de Cantabria vemos que se alcanzan valores de 1550 kWh/m<sup>2</sup> cuando se pueden superar los 2100 kWh/m<sup>2</sup> en la zona sur. Sin embargo, esta tecnología es viable en la zona.

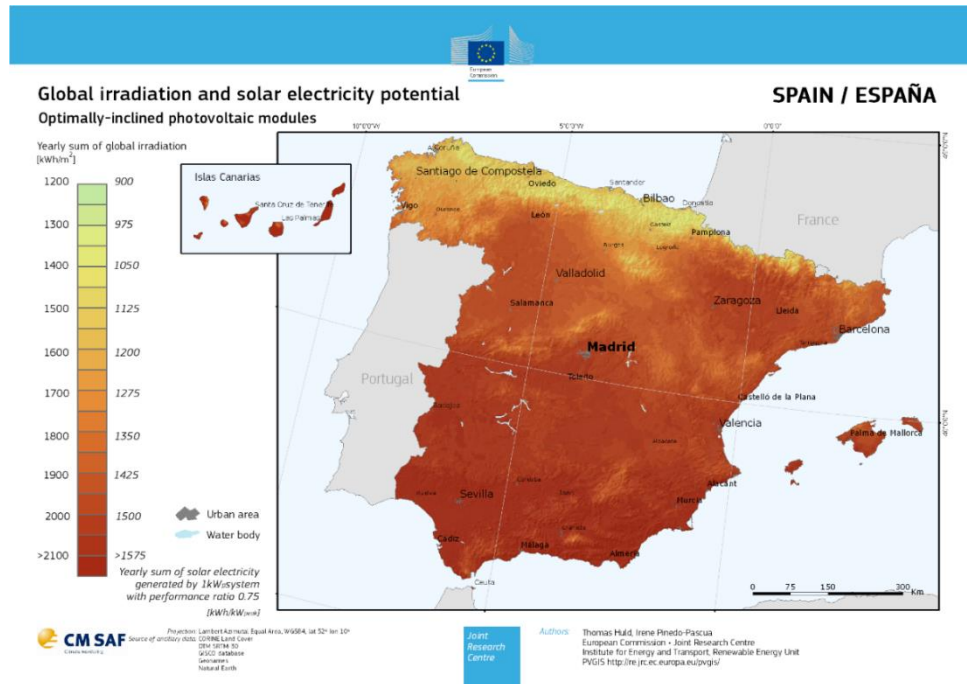


Figura 4.21. Irradiación solar y potencial fotovoltaico de España. (Fuente: European Comission)

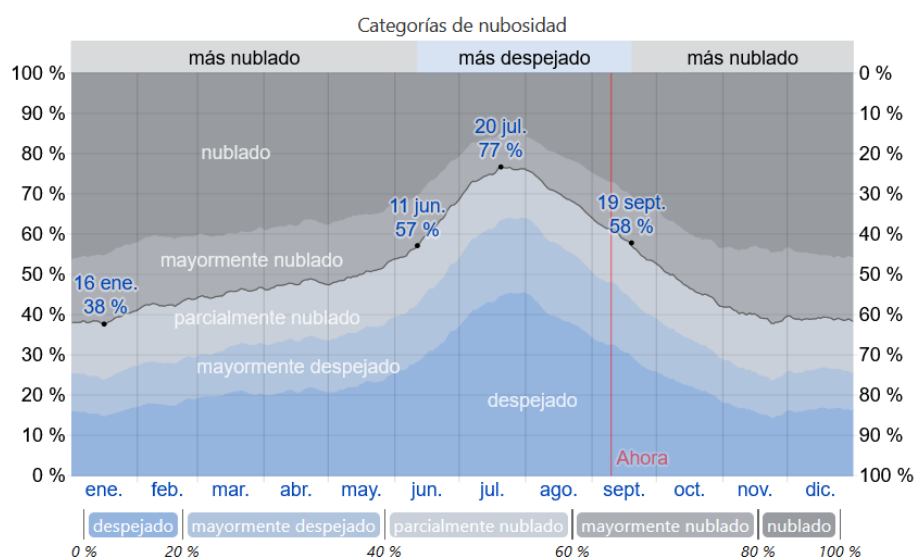


Figura 4.22. Nubosidad en Santa Cruz de Bezana. (Fuente: WeatherSpark)

#### **4.2.7.2 Elementos de una instalación fotovoltaica.**

Una instalación fotovoltaica tradicional está formada por tres componentes principales: las placas solares, las baterías y por último el inversor solar.

Las placas solares, también conocidas como módulos fotovoltaicos, son las encargadas de capturar la energía solar y convertirla en electricidad. Están formadas por un material semiconductor dispuesto en dos capas (P y N) que captura fotones con una determinada longitud de onda. Los fotones con suficiente energía son capaces de provocar un movimiento de electrones de la capa P a la capa N, creando así una diferencia de potencial o voltaje, que es la fuente de energía [30].

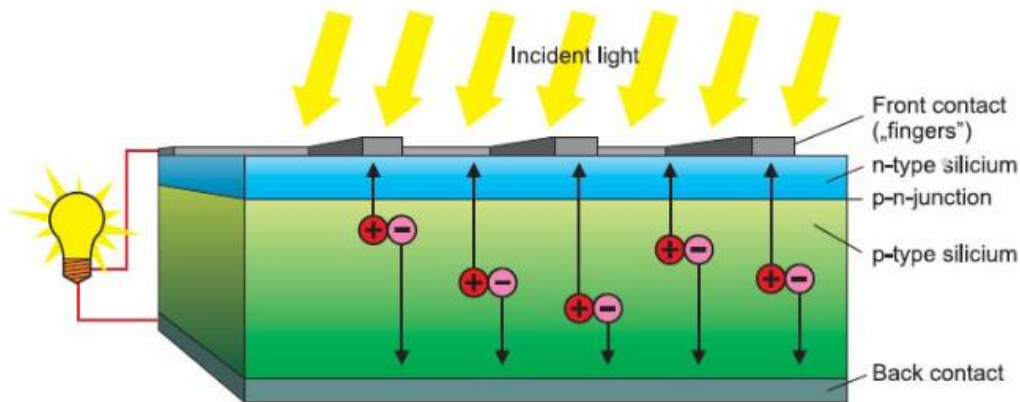


Figura 4.23. Esquema general del proceso en una célula fotovoltaica. (Fuente: Van der Wekken, T., 2007, Application Note, "Photovoltaic installations", KEMA Consulting,)

La cantidad de energía eléctrica que un sistema produzca dependerá de dos factores:

- La cantidad de luz solar incidente
- La eficiencia del sistema fotovoltaico

Dada la gran variedad de células solares y métodos de producción, la eficiencia de estos sistemas se clasifica mediante métodos estandarizados y normas, aunque la definición sea la misma, la relación entre la energía final y la energía solar incidente.

La unidad básica de un sistema fotovoltaico es una célula individual, capaz de producir entre 1 y 2 W. Para poder producir una cantidad mayor de energía se conectan células en serie para formar una unidad mayor llamada módulo, los cuales se agrupan para formar una matriz.

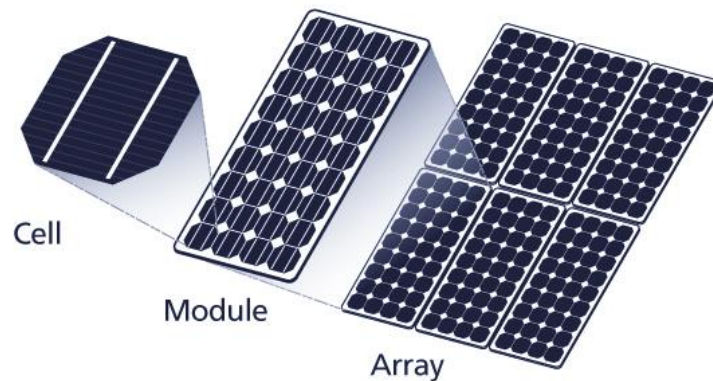


Figura 4.24. Esquema general del proceso en una célula fotovoltaica. (Fuente: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net))

Los sistemas fotovoltaicos generan electricidad en corriente continua, por lo que es necesario transformarla a corriente alterna para poder utilizarla en nuestra vivienda. El inversor solar es el encargado de convertir la corriente, también lleva a cabo otras tareas como:

- Conseguir un alto rendimiento para una amplia gama de potencias de salida
- Realizar un seguimiento del punto de máxima potencia
- Monitorizar la red para evitar una posible situación de aislamiento de la misma
- Implementar protecciones eléctricas
- Ofrecer gestión y visualización de los datos a través de una aplicación

El último elemento a considerar en nuestra instalación es la batería solar, cuyas características ya han sido mencionadas.

Actualmente existe una gran oferta de acumuladores eléctricos, sin embargo, los acumuladores de Ampere Energy son los que se van a ser utilizados.

Ampere Energy comercializa distintos modelos de baterías que ofrecen una gran variedad de características. De esta forma cada modelo está diseñado para encajar mejor en distintos escenarios [31]:

- Sphere: Equipo ideal para una vivienda tipo apartamento con consumo energético moderado.
- Square: Es la batería más demandada para el ámbito doméstico, ideal para el consumidor medio.
- Tower: Pensada para usuarios con un gasto energético medio y alto. Su combinación con producción fotovoltaica permite a la instalación alcanzar la máxima independencia energética.

Los modelos Tower y Square ofrecen además dos variantes, la S/M o la Pro, cuyas características varían ligeramente.



#### **4.2.7.3 Dimensionamiento.**

##### **Generador fotovoltaico**

Para llevar a cabo el dimensionamiento de nuestra instalación fotovoltaica realizaremos primero el dimensionamiento del elemento principal, los generadores o placas solares.

Lo primero que tenemos que tener en cuenta es el consumo diario. En nuestro caso utilizaremos valores aproximados facilitados por Red Eléctrica de España. Una vez conozcamos cual va a ser el consumo diario de electricidad, podremos calcular cual será la potencia a instalar para poder satisfacer nuestras necesidades.

$$\text{Consumo diario} = \frac{\text{Consumo mensual}}{x \text{ días/mes}}$$

Para poder obtener la potencia es necesario conocer el número de horas solar pico. Este parámetro es una unidad de medida de la irradiación solar que indica aproximadamente el número de horas diarias en las que un panel proporciona su potencia pico. Se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m<sup>2</sup>.

$$HSP = \frac{\text{Radiación solar}}{1 \text{ [kW} \cdot \text{h/m}^2\text{]}}$$

El valor de radiación solar tomado para el cálculo dependerá de la hipótesis planteada para el mismo. Normalmente se establece la menor radiación solar incidente de la zona. Al proporcionar el abastecimiento eléctrico en el caso más desfavorable, aseguras el abastecimiento para el resto de situaciones.

Mediante la división del consumo diario entre las horas solar pico conseguimos la potencia necesaria que tiene que tener nuestra instalación para proporcionar la energía equivalente a un consumo diario estándar.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Horas solares pico}}$$

El último aspecto a tener en cuenta serán las pérdidas energéticas del panel, las cuales suelen rondar el 20%.

$$\text{Potencia real} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Rendimiento}} = \frac{\text{Potencia}}{0.8}$$

## Inversor

El inversor tiene que tener unas características que le permitan trabajar en conjunto con las placas solares y con la batería instalada. Para el dimensionamiento del mismo tenemos que considerar distintos aspectos.

Lo primero que tenemos que tener en cuenta es la potencia del inversor. Algunas fuentes recomiendan que la potencia del inversor sea un 20% menor que la potencia asociada al generador fotovoltaico. Sin embargo, una mejora en la eficiencia de los generadores ha cambiado el antiguo criterio, ahora el dimensionamiento en función de la potencia se calcula mediante una constante de dimensionamiento igual a 1.1.

$$Potencia_{inversor} = \frac{Potencia_{generador}}{1.1}$$

El siguiente criterio que hay que considerar para el dimensionamiento del inversor es el voltaje. Los inversores tienen un voltaje de entrada máximo y mínimo, y este define el número óptimo de paneles que pueden ser conectados en serie.

Para determinar esto, primero calculamos la temperaturas máxima y mínima que alcanza el módulo. Estas temperaturas se obtienen mediante las siguientes fórmulas:

$$T_{m\acute{a}x.m\acute{o}dulo} = T_{amb} + \frac{TONC - 20}{800} * I$$

$$T_{m\acute{i}n.m\acute{o}dulo} = T_{amb} + \frac{TONC - 20}{800} * I$$

Figura 4.25. Fórmulas para la obtención de las temperaturas máximas y mínimas de los módulos fotovoltaicos. (Fuente: [www.solarweb.net](http://www.solarweb.net))

En este caso la  $T_{amb}$  se refiere a la temperatura ambiente máxima y mínima alcanzada en la localización, respectivamente. TONC es un parámetro conocido como la temperatura nominal de trabajo del panel y se encuentra recogido en la ficha técnica. Por último,  $I$  representa la irradiación estándar en cada caso. Para la temperatura máxima se suele considerar una irradiación de  $1000W/m^2$  y para la mínima una irradiación de  $100W/m^2$ .

Una vez se hayan calculado las temperaturas podemos calcular el voltaje máximo y mínimo del módulo. Eso se lleva a cabo con las siguientes fórmulas:

$$V_{m\acute{a}x} = V_{oc} * \left( 1 - \frac{CTP * (T_{min} - 25)}{100} \right)$$

$$V_{min} = V_{MP} * \left( 1 - \frac{CTP * (T_{max} - 25)}{100} \right)$$

Figura 4.26. Fórmulas para la obtención del voltaje máximo y mínimo de los módulos fotovoltaicos.  
(Fuente: Elaboración propia)

Los valores VOC y VMP corresponden a los voltajes de circuito abierto y de máxima potencia, parámetros que se encuentran en la ficha técnica del módulo. CTP es otro parámetro propio del módulo fotovoltaico y se define como el Coeficiente de Temperatura de la Potencia.

Esta constante establece el porcentaje de la potencia máxima del módulo que se pierde por cada grado que se supera la temperatura media de trabajo, en este caso 25°C. Por último, Tmáx y Tmin son las temperaturas obtenidas en el paso anterior.

Cuando tenemos calculado el voltaje máximo y mínimo se puede calcular el número óptimo de módulos que se pueden conectar en serie. Para realizar este cálculo se utilizan las siguientes fórmulas:

$$N_{m\acute{a}x} = V_{m\acute{a}x,INV} / V_{m\acute{a}x}$$

$$N_{min} = V_{min,INV} / V_{min}$$

Figura 4.27. Fórmulas para la obtención del número óptimo de módulos conectados en serie. (Fuente: Elaboración Propia)

Donde Vmáx,INV es la tensión máxima que admite el inversor, un parámetro que se encuentra en su ficha técnica, y Vmáx el voltaje máximo calculado en el apartado anterior.

Una vez sepamos cual va a ser la disposición de los paneles, tenemos que considerar el último criterio respecto al dimensionamiento del inversor, la intensidad de corriente asociada a los paneles.

La intensidad de cortocircuito que otorgan los paneles dependerá del número de paneles dispuestos en serie, por lo tanto, el inversor tendrá que disponer de una intensidad mayor que la de los paneles.



## Batería

El criterio principal que tendremos que seguir para poder llevar a cabo el dimensionamiento de la batería es el de la capacidad de la misma. En este caso el objetivo de la batería no es almacenar energía suficiente como para alimentar las necesidades de electricidad de la casa, sino que se trata de un elemento de apoyo. La casa tendrá un suministro eléctrico proveniente de la red y de los paneles solares, los cuales serán la principal fuente de energía para la batería solar.

Una vez aclarado este aspecto se puede definir la capacidad necesaria de la batería. Para ello hay que considerar los siguientes parámetros:

- kWh diarios. Consumo eléctrico del que va a hacerse cargo la batería.
- Autonomía. Número de días que pueda funcionar la batería sin aporte de energía eléctrica.
- Rendimiento
- Profundidad de descarga máxima (PDM). Porcentaje de la capacidad total que se usa durante un ciclo de descarga.

Existen dos posibilidades en el ciclo de descarga, la descarga superficial, que implican una descarga del 20% de la capacidad nominal y las descargas profundas, que implican una descarga del 80% de la capacidad nominal.

Cuanto mayor sea la profundidad de descarga, menos ciclos de uso nos va a poder dar una batería, ya que de cada ciclo se puede obtener más energía. Un menor número de usos supone un aumento de la vida de la batería, por lo tanto, una alta profundidad de descarga siempre será beneficiosa.

Una vez conocidos todos los aspectos que interfieren en el cálculo de la capacidad de la batería se pueden definir las fórmulas. En las fuentes consultadas encontramos principalmente dos metodologías de cálculo, el cálculo de capacidad en Wh y en Ah.

$$Capacidad_{Ah} = \frac{Potencia\ consumida \cdot Autonomía}{PDM \cdot Rendimiento \cdot Tensión\ nominal}$$

$$Capacidad_{kWh} = \frac{Potencia\ consumida \cdot Autonomía}{PDM \cdot Rendimiento}$$

### 4.2.7.1 Compensación simplificada de excedentes

La compensación de excedentes consiste en la venta de la energía sobrante producida por el consumidor. Esto es posible gracias al Real Decreto 244/2019 [32] que busca facilitar los trámites al consumidor y así incentivar el autoconsumo residencial. Actualmente los precios del excedente son fijados por REE.

Este precio es el resultado de restar al precio medio horario (basado en el resultado del mercado diario e intradiario para cada hora del día) el coste de los desvíos. Para el cálculo de este valor no se tienen en cuenta los peajes de acceso. De esta manera, los autoconsumidores que viertan el excedente de generación renovable en la red, obtendrán una reducción sobre su factura de electricidad.

En la actualidad el precio del MWh ha ido aumentando muy rápidamente, y ha ocurrido lo mismo con el precio de la energía excedentaria. Cuando en junio de 2021 el precio rondaba los 87€ en octubre del mismo año el precio ha alcanzado los 230€/MWh.

En nuestro caso no se plantea la generación de energía excedentaria. Al contar con un sistema fotovoltaico con batería inteligente de apoyo, la energía producida por los paneles va a ser siempre utilizada, si no directamente en la vivienda, en la alimentación de la mencionada batería.

### **4.3 PROGRAMAS DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA**

Actualmente existe una gran oferta de programas oficiales para la certificación energética de edificios, todos ellos aprobados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y actualizados a la última versión del CTE del año 2019.

#### **4.3.1. Herramienta Lider Calener**

La Herramienta Unificada Lider Calener (HULC) permite llevar a cabo la verificación del ya mencionado DB-HE del CTE, así como la certificación energética de edificios según el Real Decreto 235/2013. Esta herramienta está diseñada para realizar la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios, así como para llevar a cabo la mayor parte de los cálculos recogidos en el CTE y para la impresión de la documentación administrativa pertinente.

El programa posee dos aplicaciones independientes que se diferencian en función de los parámetros que se pueden introducir: Calener VYP es utilizado para viviendas y pequeño terciario y Calener GT para gran terciario.

#### **4.3.2 Herramienta CE3X**

La herramienta CE3X es un programa de distribución gratuita desarrollado por Efinovatic y el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) que es propiedad del IDAE. Al igual que HULC el programa CE3X es “Documento Reconocido para la Certificación Energética de Edificios Existentes” lo que quiere decir que está aprobado por el MITECO.

Este programa permite certificar de una forma más simplificada cualquier tipo de edificio (residencial, pequeño terciario o gran terciario) pudiéndose obtener cualquier calificación en función de la variedad existente de situaciones [33].

El funcionamiento del programa se basa en la comparación del edificio objeto, el edificio a calificar, con una base de datos elaborada para cada una de las zonas climáticas existentes. Esta base de datos es lo suficientemente amplia para cubrir cualquier caso del parque edificatorio español.

Además, el programa cuenta con un gran número de complementos, que en este caso han sido necesarios para la realización del trabajo. Con la última actualización del CTE el programa quedó obsoleto, y no era posible calificar edificios teniendo en cuenta los valores asociados al mismo. Con el complemento de certificación energética de edificios nuevos se puede acceder a una amplia base de datos actualizada a la nueva normativa, y por lo tanto, se puede realizar correctamente la calificación de un edificio construido después del 2019.

#### 4.4 ANALISIS DE AMBAS SOLUCIONES MEDIANTE SOFTWARE

Una vez se han definido ambos escenarios, se puede llevar a cabo el análisis pertinente de eficiencia, para su posterior comparación, mediante el uso del software indicado.

En este caso, este apartado será realizado usando exclusivamente la herramienta CE3X.

##### 4.4.1. Introducción de datos

Una vez abrimos el programa, nos aparecerá una primera ventana donde podremos seleccionar qué tipo de edificio queremos calificar. De las tres opciones posibles, seleccionaremos Edificio Residencial, al ser este el objeto de nuestro estudio.

#### Certificación energética simplificada de edificios existentes

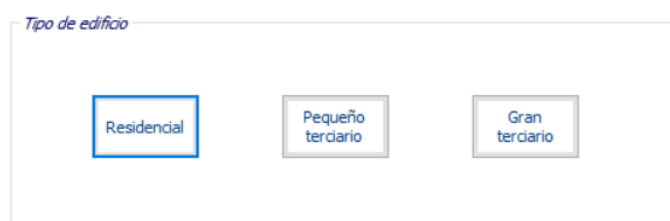


Figura 4.28. Ventana emergente inicial. (Fuente: CE3X)

Una vez seleccionamos la opción deseada, se abre la ventana principal de trabajo.

Archivo Librerías Patrones de sombra Resultados Complementos Ayuda Acerca de

Datos administrativos Datos generales Envolverte térmica Instalaciones

### Localización e identificación del edificio

Nombre del edificio

Dirección

Provincia/Ciudad autónoma  Localidad  Código Postal

Referencia Catastral  +

### Datos del cliente

Nombre o razón social

Dirección

Provincia/Ciudad autónoma  Localidad  Código Postal

Teléfono  E-mail

### Datos del técnico certificador

Nombre y Apellidos  NIF

Razón social  CIF

Dirección

Provincia/Ciudad autónoma  Localidad  Código Postal

Teléfono  E-mail

Titulación habilitante según normativa vigente

Figura 4.29. Ventana principal. (Fuente: CE3X)

En nuestro caso no es necesario rellenar al completo la primera pestaña, relativa a los datos administrativos, ya que no se va a generar un documento oficial. Los campos sombreados en gris, tendrán que ser rellenados obligatoriamente.

Una vez completamos dicha información, pasaríamos a la siguiente pestaña, donde se rellenan los datos generales del edificio. En este momento se definen parámetros más generales, como el año de construcción, el tipo de edificio o la localidad (importante para la definición de la zona climática) y otros de carácter más específico como la superficie útil habitable, el número de plantas habitables o la demanda diaria de ACS.

El cálculo de las renovaciones de aire por hora necesario para rellenar el campo de ventilación del inmueble se lleva a cabo con la información recogida en el Documento Básico HS Salubridad HS 3 Calidad del aire interior.

Tabla 4.38. Caudal mínimo para ventilación de locales habitables. (Fuente: CTE)

Tipo de vivienda	Caudal mínimo $q_v$ en l/s				
	Locales secos <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>			Locales húmedos <sup>(2)</sup>	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores <sup>(3)</sup>	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

En cuanto a la demanda de ACS diaria, tal y como se recoge en el apartado 4.2.6, el CTE proporciona una fórmula que permite realizar el cálculo de la demanda diaria aproximada de ACS en función del número de habitantes.

Además, se pueden cargar en el programa imágenes y planos del edificio para su uso en el documento posterior.

La siguiente pestaña que encontramos es la relativa a la envolvente térmica del edificio. En este momento tendremos que definir todos aquellos elementos de la envolvente que queramos como la cubierta, muros, suelos, huecos o puentes térmicos. Este apartado es, junto con el que le sigue a continuación, uno de los más importantes y por lo tanto, uno de los más laboriosos de rellenar.

Cada elemento de la envolvente ha de ser correctamente definido, y eso implica su superficie, propiedades térmicas y otras características como el patrón de sombras o la orientación.

Por último, una vez se hayan rellenado los datos generales y los datos de la envolvente térmica se llega a la última de las pestañas antes de la obtención de la certificación. Esta es la pestaña de Instalaciones, donde definiremos los equipos con los que cuenta el edificio para su climatización, refrigeración y producción de ACS.

El resto de elementos asociados a la iluminación o electrodomésticos, deberán de ser analizados utilizando otro procedimiento

#### 4.4.2. Obtención de la calificación

Cuando se hayan completado todos los parámetros podremos obtener la calificación energética del edificio. Para ello hay que acceder a su pestaña correspondiente. A continuación se muestra, dentro de un cuadrado rojo, la pestaña indicada.

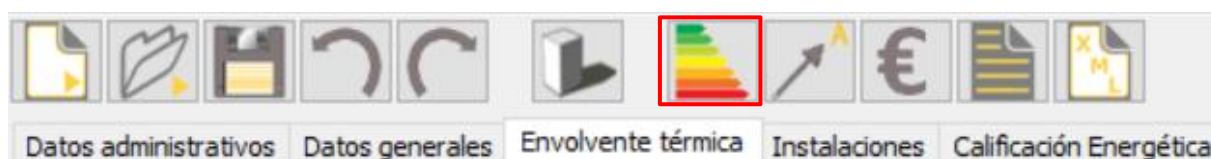


Figura 4.30. Pestañas superiores del programa. (Fuente: CE3X)

Una vez hecho esto, el programa muestra la calificación energética del edificio según la norma vigente. Para hacer esto muestra como indicación los Kg de CO<sub>2</sub> generados por cada m<sup>2</sup> de vivienda.

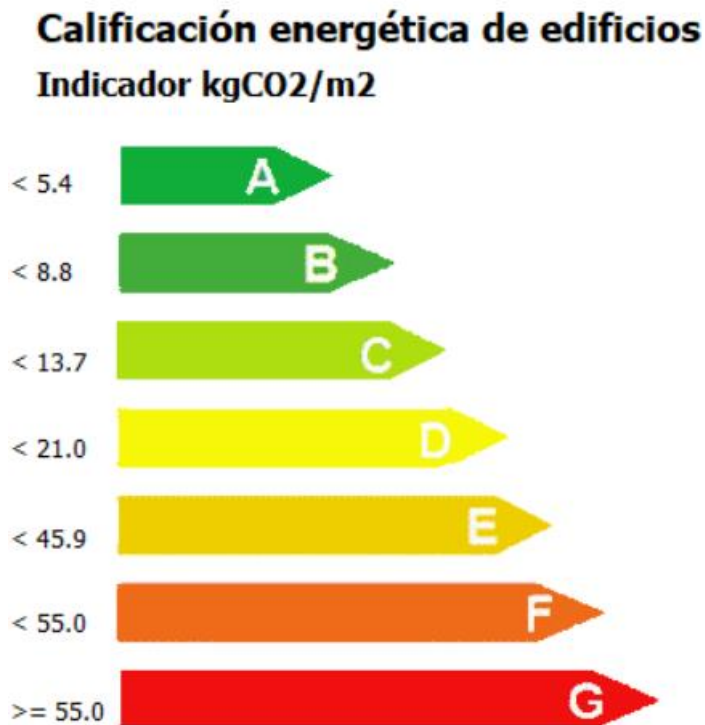


Figura 4.31. Pestañas superiores del programa. (Fuente: CE3X)

Este proceso se tendrá que llevar a cabo en dos ocasiones, para generar la calificación energética del edificio en los dos escenarios planteados. Algunos datos serán compartidos ya que se parte de un mismo edificio, con los mismos metros cuadrados habitables, mismas plantas y misma localización.

De esta forma se podrán obtener los resultados relativos al análisis del consumo, eficiencia y emisiones de la vivienda, por lo que faltaría de realizar el análisis económico.

## 4.5 ANALISIS ECONÓMICO

En este apartado se llevarán a cabo los análisis relativos a la inversión y rentabilidad de las hipótesis planteadas, para lo cual se realizarán al TIR y VAN de las mismas.

### 4.5.1. TIR y VAN

Estos dos parámetros corresponden a unas fórmulas que permiten visualizar la viabilidad financiera y la rentabilidad de un proyecto empresarial. En definitiva, son dos fórmulas que permiten analizar cómo de oportuno puede ser un proyecto para la entidad que lo realice.

Las siglas TIR hacen referencia a la Tasa Interna de Retorno, y su función es señalar la tasa a la cual recuperamos la inversión inicial del proyecto cuando ha transcurrido cierto tiempo [34]. Por este motivo, cuanto menor sea el valor del TIR, más rentable será nuestro proyecto



Las siglas VAN, por otro lado, hacen referencia al Valor Actual Neto. Las empresas emplean esta variable cuando quieren homogeneizar los flujos de caja neta, o convertir todos los ingresos generados en una única cifra. Para que un proyecto o negocio sea rentable, el valor del VAN debe de ser siempre mayor que cero, de manera que, en un plazo estimado, se consiga recuperar la inversión inicial y así generar beneficio [35].

Ambas variables se relacionan de forma directa con el flujo de caja de los negocios y buscan hacer más preciso el cálculo del tiempo que un proyecto tardará en recuperar su inversión inicial.

La fórmula para calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

Figura 4.32. Fórmula del cálculo del VAN. (Fuente: Economipedia)

Donde:

- $F_t$  representa los flujos de dinero de cada periodo  $t$
- $I_0$  representa la inversión realizada en el momento inicial  $t=0$
- $n$  representa el número de períodos de tiempo
- $k$  representa el tipo de descuento o tipo de interés

La fórmula para calcular la Tasa Interna de Retorno es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

Figura 4.33. Fórmula del cálculo del TIR. (Fuente: Economipedia)

Solamente si el  $TIR > k$  el proyecto de inversión podrá ser aceptado. Al igual que con un valor del VAN igual a cero, un valor del TIR igual a  $k$  supone una situación en la que no se generarán ni pérdidas ni beneficios.

#### 4.6 SELECCIÓN DE TARIFA

Desde el 1 de junio de 2021 las tarifas de acceso 2.0 y 2.1 pasaron a agruparse y denominarse tarifa 2.0TD.

Este cambio estaba previsto por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia para el año 2020, sin embargo, la crisis sanitaria asociada a la pandemia global generada por la COVID 19 produjo su retraso.

Las 2 modificaciones más importantes que ha supuesto este cambio son las siguientes:

- Discriminación horaria obligatoria
- Dos tramos de potencia eléctrica

Esta nueva tarifa de luz será aplicada a todos los puntos de suministro de baja tensión con una potencia contratada de hasta 15kW, y todos los clientes en esta situación tendrán una tarifa con discriminación horaria de 3 períodos de manera obligatoria, desapareciendo las tarifas con precio estable.

Esto supone que la jornada se dividirá en tres franjas horarias: punta, valle y llano. En la franja valle tanto el precio de la energía consumida como el precio del peaje serán más económicos.



Figura 4.34. Distribución de las franjas de tarificación horaria. (Fuente: Selectra)

Otra de las novedades que incluye esta tarifa es la ampliación de los tramos de potencia, uno para el período punta y otro para el valle. El número de kilowatios contratados en cada tramo puedes ser igual o diferente, en función de las necesidades del usuario.





Figura 4.35. Distribución de los tramos de potencia. (Fuente: Selectra)

De esta forma se puede contratar una potencia más elevada en las horas valle y una más baja en las horas punta, aunque de nuevo hay que tener en cuenta los hábitos de consumo de la vivienda.

En definitiva, con todos los cambios que está sufriendo la tarifa eléctrica y con las nuevas posibilidades que ofrece, es imprescindible conocer las diferencias en el consumo de la vivienda a lo largo del día y así poder adaptar la generación o el propio consumo para generar menos pérdidas.

#### 4.6.1 Consumo de la vivienda por horas

Para poder determinar el consumo de la vivienda por horas tendremos que tener en cuenta los sistemas de generación y almacenamiento, así como los consumos relacionados a electrodomésticos, iluminación y otros equipos presentes en la casa.

Algunos consumos se corresponden con hábitos u horarios propios del consumidor medio, por lo tanto, no será necesario llevar a cabo un análisis muy exhaustivo. Ejemplo de esto son los electrodomésticos. Para la visualización de su consumo podemos hacer uso de las curvas de carga utilizadas en el apartado 3.6, donde claramente se observa como el mayor uso de los electrodomésticos principales se concentra en los tramos con un precio más elevado

Las horas punta, de 10 a 14 horas y de 18 a 22 horas, corresponden con el período de tiempo en el que se suele hacer un mayor uso de electrodomésticos, es decir, antes de irse al trabajo/escuela y después de volver del mismo.

Utilizando los datos proporcionados por el IDAE, se pueden estimar los consumos asociados a los distintos electrodomésticos.



Tabla 4.39. Consumo promedio de electrodomésticos presentes en una vivienda estándar. (Fuente: Elaboración propia)

kWh	Electrodomésticos		
	anual	mensual	diario
<b>Frigorífico</b>	662	55,17	1,84
<b>Congelador</b>	563	46,92	1,56
<b>Lavadora</b>	255	21,25	0,71
<b>Lavavajillas</b>	246	20,50	0,68
<b>Secadora</b>	255	21,25	0,71
<b>Horno</b>	231	19,25	0,64
<b>TV (x2)</b>	526	43,83	1,46
<b>PC</b>	172	14,33	0,48
<b>Standby</b>	231	19,25	0,64
<b>Resto</b>	76	6,33	0,21
<b>Suma</b>	3217	268,08	8,94

Otro ejemplo puede ser la iluminación de la vivienda. Evidentemente los usuarios harán un mayor uso de los elementos de iluminación durante las horas del día en las que no sea posible o suficiente el uso de luz natural. Teniendo en cuenta el horario de invierno, en el que hay menos horas de sol, se puede aproximar el uso de las luminarias de ocho a nueve de la mañana, y a partir de las ocho de la tarde hasta medianoche.

De nuevo el consumo relacionado con la iluminación de la vivienda se produce mayoritariamente en las franjas horarias de precio más elevado.

Con los datos del IDAE se pueden calcular los kWh consumidos en iluminación en una vivienda estándar.

Tabla 4.40. Consumo promedio de iluminación en una vivienda estándar. (Fuente: Elaboración propia)

kWh	Iluminación		
	anual	mensual	diario
	410	34,17	1,14

El siguiente aspecto a tener en cuenta es la generación de energía, y su impacto en el consumo energético de la red. El abastecimiento de energía eléctrica mediante los paneles fotovoltaicos instalados reduce la necesidad de consumir energía de la red, esto evidentemente supondrá un ahorro importante. Si esa energía producida es almacenada en la batería, en otros momentos en los que el precio sea elevado se puede recurrir a la energía disponible en la batería para de nuevo conseguir un mayor ahorro. Otra posible acción relativa a la batería es llevar a cabo su carga durante la noche, aprovechando el período valle.

Suponiendo una instalación fotovoltaica formada por 10 paneles de 300W cada uno, podemos estar generando, en condiciones ideales, 3kW cada hora.



En función de las horas de sol disponibles se pueden generar hasta 5kWh/día en un mes de verano. Esto puede suplir casi un 60% de la demanda eléctrica, lo que supone que el resto puede ser suministrado por la batería o por la red. Con una batería lo suficientemente grande, se puede optar por contratar una potencia menor para las horas punta, en las que utilizaremos la energía disponible en la batería, y una potencia suficiente para poder cargar dicha batería por la noche, cuando la electricidad es más barata.

También se puede calcular aproximadamente la potencia mínima a contratar. Para ello se sumarán las potencias asociadas a los equipos presentes en la casa, y se aplicará un factor de simultaneidad variable, aunque la mayoría de fuentes recomiendan un valor de 0.3-0.4 para electrodomésticos y uno de 0.6-0.7 para la iluminación [36] [37].

El factor de simultaneidad permite tener en cuenta los diferentes horarios de uso de los electrodomésticos ya que no todos van a ser utilizados al mismo tiempo.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 DEFINICIÓN DE UNA VIVIENDA TIPO

Como ya se ha mencionado el primer paso que hay que realizar es la definición de nuestra vivienda, que incluye localización geográfica, orientación y geometría general de la misma. Estas características determinarán aspectos tan importantes como las condiciones climatológicas a las que se verá sometida la casa y la capacidad que tenga para disponer de un número determinado de cerramientos o sistemas de generación renovables.

#### 5.1.1 Localización

La vivienda objeto de estudio será una vivienda unifamiliar tipo chalet de dos plantas situada en Soto de la Marina, en la provincia cántabra de Santa Cruz de Bezana. Dicha provincia se encuentra situada a una altitud de 27 metros sobre el nivel del mar y al igual que la mayor parte de la cuenca norte peninsular posee un clima oceánico.



Figura 5.1. Término municipal de Santa Cruz de Bezana. (Fuente: Wikipedia Imágenes)



Figura 5.2. Situación del municipio. (Fuente: Wikipedia Imágenes)

El clima oceánico se caracteriza por unas temperaturas suaves durante todo el año y abundantes precipitaciones a causa de la proximidad al océano. Presenta inviernos fríos y veranos frescos con una oscilación térmica anual pequeña, de unos 10°C de media.

En Santa Cruz de Bezana en concreto los veranos son cómodos y secos, y los inviernos son fríos, largos, mojados y ventosos. Suele estar nublado durante todo el año, con temperaturas que varían entre 5 y 23°C.

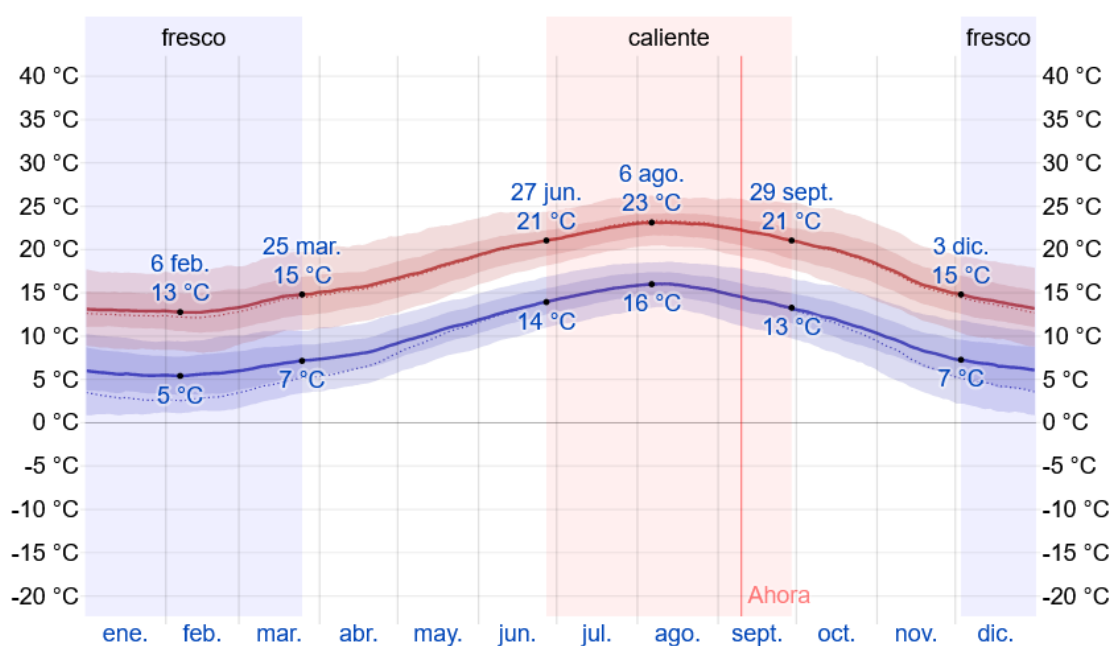


Figura 5.3 Temperaturas máxima y mínima promedio (Fuente: WeatherSpark)

Las características de este clima hacen que los esfuerzos de climatización de los hogares se concentren en los sistemas de calefacción más que en aquellos de aire acondicionado.

### 5.1.2 Geometría

La vivienda cuenta con una superficie habitable aproximada de 121 m<sup>2</sup> distribuidos en dos plantas, la planta baja dispone de 40 m<sup>2</sup> y la primera planta con los 81 m<sup>2</sup> restantes. La casa está orientada con un ángulo de 30° respecto del sur en sentido horario.

### 5.1.3 Análisis del consumo real

El consumo de la vivienda media viene determinado por sus características técnicas. Los valores límites de las mismas están recogidos en el CTE, y han sido expuestos en el apartado 4.1. Un edificio tipo tiene que cumplir con esos requerimientos por ley. La zona climática de invierno predominante en Cantabria es la zona C.

### 5.1.3.1 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria

La contribución mínima de energía renovable establecida por el documento depende en función de la demanda de ACS diaria. El DB-HE recoge en el Anejo F un método de cálculo de la demanda diaria media de ACS, que dependerá del número de dormitorios.

Tabla 5.1. Relación entre el número de dormitorios y personas. (Fuente: CTE)

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

En el caso de edificio de uso residencial privado, la demanda se obtendrá considerando unas necesidades de 28 litros/día·persona (a 60°C). En nuestro caso de estudio la vivienda cuenta con 3 dormitorios, lo que significa un total de 4 personas. La demanda diaria de ACS será por lo tanto de un mínimo de 112 l/día.

La sección HE 4 del Código Técnico de la Edificación se aplica para edificios de nueva construcción con una demanda de ACS superior a 100 l/día, por lo que nuestra vivienda entra dentro de la definición. Además, al tener una demanda inferior a 5000 l/día ya se establece la aportación mínima de energía renovable, en este caso es del 60%.

En definitiva, nuestra vivienda tendrá que ser capaz de abastecerse de 67,2 l/día de ACS a través de fuentes de energía renovables.

Para nuestra instalación se puede elegir un sistema como el sistema solar de termosifón Vitosol 111-F de Viessmann. Este sistema consta de uno o dos colectores planos con absorbedor optimizado con revestimiento especial y un interacumulador de ACS de acero con esmaltado protector.

Este sistema está disponible en tres tamaños en función del depósito de agua caliente:

- Depósito de 150 litros y colector plano de 2m<sup>2</sup> de superficie
- Depósito de 200 litros y colector plano de 2,3m<sup>2</sup> de superficie
- Depósito de 300 litros y dos colectores planos de 4m<sup>2</sup> de superficie

Todos los modelos pueden disponer de una resistencia eléctrica de inmersión (3kW, 230 V) que se encarga del calentamiento del agua sanitaria cuando la irradiación solar es insuficiente.

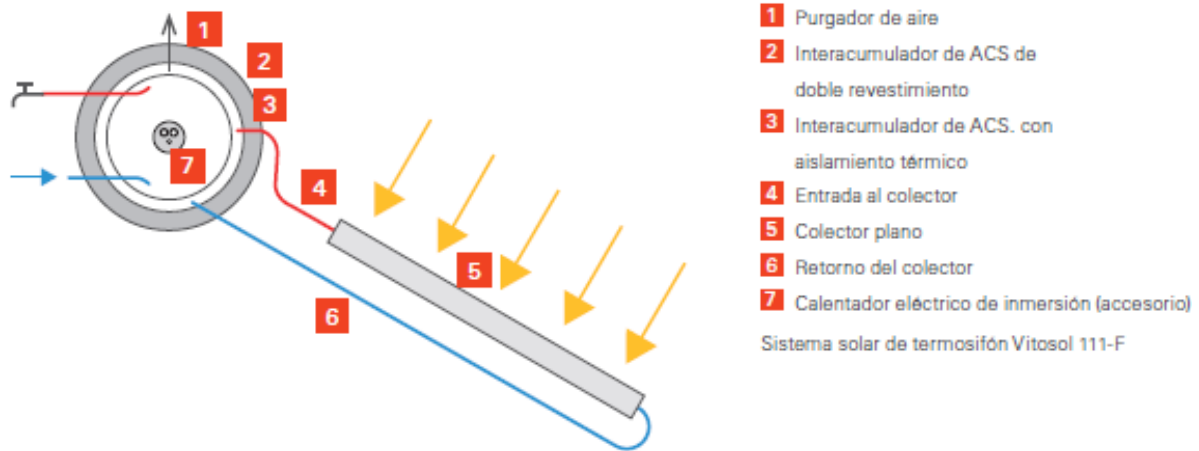


Figura 5.4. Partes del equipo Vitosol. (Fuente: Viessmann)



Figura 4.5. Partes del equipo Vitosol. (Fuente: Viessmann)



### 5.1.3.2 Generación mínima de energía eléctrica

Como ya se mencionó, una buena opción para reducir la factura eléctrica es apostar por un sistema fotovoltaico. Gracias a la fórmula proporcionada en el anejo E del código técnico de la edificación, podemos calcular la potencia a instalar.

Para poder calcular la  $P_{lim}$  necesitamos conocer la superficie construida de cubierta, que en este caso es de 130 m<sup>2</sup>.

$$P_{min} = 0,01 \cdot S = 0,01 \cdot 100m^2 = 1 \text{ kW}$$

$$P_{lim} = 0,05 \cdot S_c = 0,05 \cdot 130m^2 = 6.5 \text{ kW}$$

Como el CTE no recoge ninguna medida de cara a la generación de energía eléctrica y autoconsumo, cualquier instalación que permita obtener energía eléctrica desde una fuente renovable, va a suponer no solo una mejora de las condiciones establecidas por el DB-HE, sino una mejora de la eficiencia de la vivienda.

Dadas las características de la parcela no se plantea la instalación de un sistema de autoconsumo eólico. Se trata de una solución más costosa y extensa, que, aunque esté mucho más extendida en Europa, sigue sin encajar en España.

Las placas solares al contrario son bastante más accesibles económicamente, tienen un tamaño reducido, y por lo tanto se ajustan mejor a las características de la vivienda.

## 5.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE CADA UNA DE LAS SOLUCIONES QUE SE PLANTEAN

A continuación, se recogerán los distintos sistemas seleccionados para la obtención de la mejor eficiencia energética.

### 5.2.1 Condiciones para el control de la demanda energética

El sistema seleccionado para conformar el aislamiento térmico de la envolvente serán los paneles sándwich. Estos paneles están disponibles para todos los elementos de la envolvente: fachada, suelos, paredes y cubiertas. El sistema Thermochip Housing para toda la envolvente de la edificación ha conseguido la certificación como sistema constructivo passivhaus, lo que les hace idóneos para nuestra vivienda.

Este sistema proporciona un gran aislamiento a la vivienda gracias a sus valores de transmitancia y su control sobre los puentes térmicos.

Los sistemas de almacenamiento térmico mediante materiales de cambio de fase son una alternativa interesante, sin embargo, estos sistemas tienen poca vigencia en el mercado actual ya que existen otras muchas opciones más asequibles y cómodas de usar.



### 5.2.2 Ventanas

El sistema seleccionado para las ventanas será el mencionado en el apartado 4.2.2.5. Se trata de una ventana que cuenta con certificado Passivhaus y con un valor de transmitancia térmica muy reducido. Dicho sistema, combinado con la cinta de sellado mencionada en el mismo apartado, otorga unas pérdidas muy reducidas.

### 5.2.3 Condiciones de las instalaciones térmicas

Para cumplir y mejorar los requerimientos establecidos en el apartado 4.1.4 se utilizará el sistema de Aerotermia mencionado posteriormente en el apartado 4.2.3.1.

El sistema de Geotermia se descartará por la necesidad de realización de una obra para su instalación. Además, las características técnicas de ambos sistemas son similares, por lo que la Aerotermia supone una instalación más cómoda.

### 5.2.4 Electrodomésticos

Los electrodomésticos que consumen más energía eléctrica son los más susceptibles de ser sustituidos por otros con una mayor eficiencia energética.

#### 5.2.4.1 Frigorífico

Utilizando como referencia el frigorífico Samsung Bespoke Inox, vamos a comparar las características del mismo, que tiene una alta eficiencia energética, con otro de la misma marca con peores prestaciones.

Mientras que este frigorífico cuenta con una eficiencia clase A y un consumo de energía de 108kWh/año, el modelo Combi Inox tiene una eficiencia clase C y por lo tanto un consumo de energía de 169kWh/año.

Tabla 5.2. Datos para el cálculo del coste operativo del modelo Bespoke. (Fuente: Youreko)

Descripción	Valor	Fuente
Consumo energético	108 kWh por año	Samsung
Uso promedio	Siempre encendido	N/A
Vida útil media	17 años	Energy Saving Trust
Tarifa media	22,98c por kWh	Eurostat
Aumento anual promedio de la tarifa	5,76% (datos de los últimos 12,5 años)	Eurostat

(A) Consumo energético	108 kWh por año
(B) Uso	Siempre encendido
(C) Tarifa	22,98c por kWh
<b>Cálculo del coste eléctrico</b>	<b><math>(A * C) / 100 = 24,82 \text{ €}</math></b>

Tabla 5.3. Desglose del coste operativo del modelo Bespoke durante su vida útil media.  
(Fuente: Youreko)

Año 1 (a 22,98c)	24,82 €
Año 2 (a 24,30c)	26,24 €
Año 3 (a 25,70c)	27,76 €
Año 4 (a 27,18c)	29,35 €
Año 5 (a 28,75c)	31,05 €
Año 6 (a 30,41c)	32,84 €
Año 7 (a 32,16c)	34,73 €
Año 8 (a 34,01c)	36,73 €
Año 9 (a 35,97c)	38,85 €
Año 10 (a 38,04c)	41,08 €
Año 11 (a 40,23c)	43,45 €
Año 12 (a 42,55c)	45,95 €
Año 13 (a 45c)	48,60 €
Año 14 (a 47,59c)	51,40 €
Año 15 (a 50,33c)	54,36 €
Año 16 (a 53,23c)	57,49 €
Año 17 (a 56,30c)	60,80 €
<b>Coste eléctrico total durante 17 años</b>	<b>685,51 €</b>

El siguiente frigorífico eficiente que ofrece la marca tiene las siguientes características.

Tabla 5.4. Datos para el cálculo del coste operativo del modelo Combi. (Fuente: Youreko)

Descripción	Valor	Fuente
Consumo energético	169 kWh por año	Samsung
Uso promedio	Siempre encendido	N/A
Vida útil media	17 años	Energy Saving Trust
Tarifa media	22,98c por kWh	Eurostat
Aumento anual promedio de la tarifa	5,76% (datos de los últimos 12,5 años)	Eurostat

(A) Consumo energético	169 kWh por año
(B) Uso	Siempre encendido
(C) Tarifa	22,98c por kWh
<b>Cálculo del coste eléctrico</b>	<b><math>(A * C) / 100 = 38,84 €</math></b>



Tabla 5.5. Desglose del coste operativo del modelo Combi durante su vida útil media. (Fuente: Youreko)

Año 1 (a 22,98c)	38,84 €
Año 2 (a 24,30c)	41,07 €
Año 3 (a 25,70c)	43,43 €
Año 4 (a 27,18c)	45,93 €
Año 5 (a 28,75c)	48,59 €
Año 6 (a 30,41c)	51,39 €
Año 7 (a 32,16c)	54,35 €
Año 8 (a 34,01c)	57,48 €
Año 9 (a 35,97c)	60,79 €
Año 10 (a 38,04c)	64,29 €
Año 11 (a 40,23c)	67,99 €
Año 12 (a 42,55c)	71,91 €
Año 13 (a 45c)	76,05 €
Año 14 (a 47,59c)	80,43 €
Año 15 (a 50,33c)	85,06 €
Año 16 (a 53,23c)	89,96 €
Año 17 (a 56,30c)	95,15 €
<b>Coste eléctrico total durante 17 años</b>	<b>1.072,69 €</b>

A raíz de los datos observados podemos concluir que efectivamente un electrodoméstico más eficiente se traduce en un gasto significativamente menor con el tiempo.

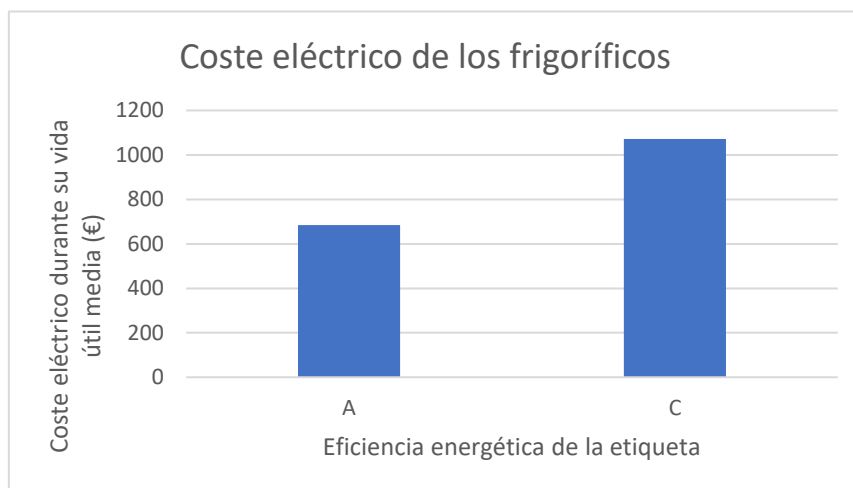


Figura 5.6. Coste eléctrico de distintos frigoríficos. (Fuente: Elaboración propia)

#### 5.2.4.2 Lavadoras

Llevando a cabo el mismo procedimiento con lavadoras de la misma casa se obtienen los siguientes resultados.

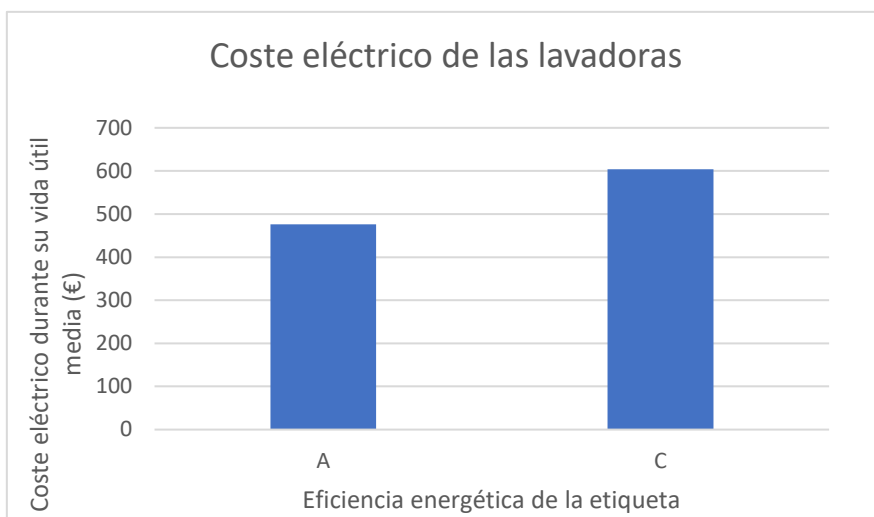


Figura 5.7. Coste eléctrico de distintas lavadoras. (Fuente: Elaboración propia)

#### 5.2.4.3 Lavavajillas

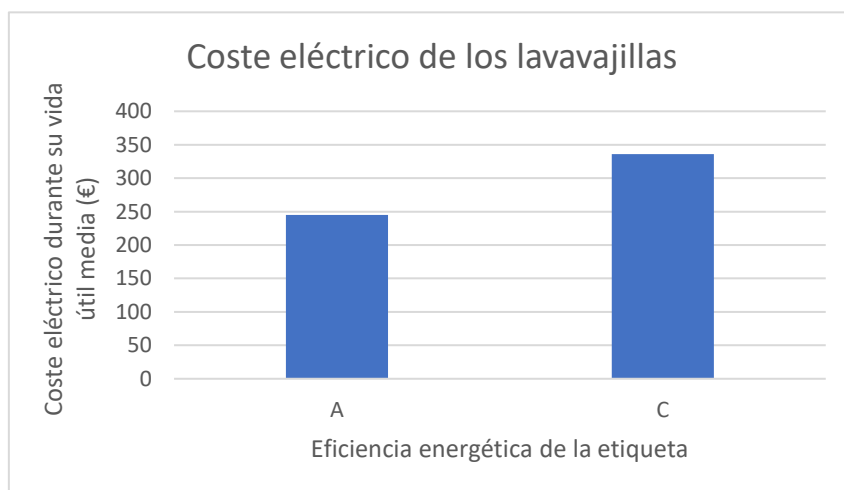


Figura 5.8. Coste eléctrico de distintos lavavajillas. (Fuente: Elaboración propia)

## 5.2.5 Autoconsumo

### 5.2.5.1 Dimensionamiento

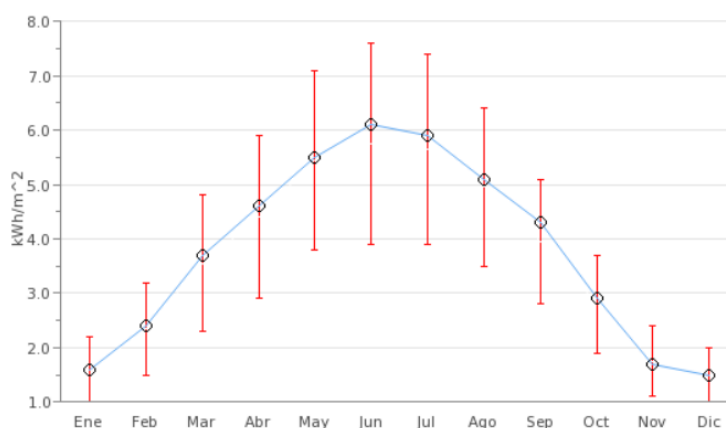
Esta instalación contará con tres elementos únicamente, el generador fotovoltaico, la batería inteligente y el inversor solar. Va a ser necesario un dimensionamiento de cada elemento para poder dar forma a nuestra instalación fotovoltaica.

#### Generador fotovoltaico

Para llevar a cabo el dimensionamiento de los generadores es imprescindible tener en cuenta el consumo eléctrico y la potencia contratada. Otros aspectos que hay que tener en consideración son la superficie disponible para la colocación de los mismos y la orientación del tejado.

El aspecto más importante de cara a realizar el dimensionamiento de los paneles es, sin embargo, la cantidad de energía consumida. Esta varía mucho en función del tamaño y tipo de vivienda, así como del número de ocupantes, por ello tomaremos valores de una vivienda media. Utilizamos los datos de Red Eléctrica de España, que establece un consumo medio mensual de 270kWh y una potencia media instalada de entre 3.45 y 4.6kW. Actualmente los usuarios pueden contratar, subir o bajar la potencia eléctrica en múltiplos de 0,1kW en vez de ceñirse a los tramos de potencia normalizadas establecidas por el gobierno.

Sin embargo, las condiciones nunca van a ser iguales a lo largo del año, por lo que es necesario tener en cuenta todos los casos desfavorables, desde el punto de vista de la generación, para poder satisfacer la demanda eléctrica de la instalación en todo momento.



(kWh/m²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Percentil 75	2.2	3.2	4.8	5.9	7.1	7.6	7.4	6.4	5.1	3.7	2.4	2.0
Valor medio	1.6	2.4	3.7	4.6	5.5	6.1	5.9	5.1	4.3	2.9	1.7	1.5
Percentil 25	1.0	1.5	2.3	2.9	3.8	3.9	3.9	3.5	2.8	1.9	1.1	1.0

Figura 5.9. Valores diarios medios de irradiación solar global sobre plano horizontal. (Fuente: ADRASE)



En las fuentes consultadas se estima que, en la actualidad, un sistema de autoconsumo de 3kW puede cubrir la mayoría de necesidades de iluminación y consumo eléctrico de un hogar de cuatro miembros con una superficie de 70m<sup>2</sup> [38]. Por lo tanto, para nuestro caso será necesaria una instalación similar o mayor, para poder suplir las necesidades de la vivienda.

Suponiendo el consumo mensual de 270 kWh y que un mes tiene 30 días, podemos obtener el valor del consumo eléctrico diario.

$$\text{Consumo diario} = \frac{\text{Consumo mensual}}{30 \text{ días/mes}}$$

$$\frac{270}{30} = 9 \text{ kWh} = \text{Consumo diario}$$

Una vez se conoce el valor del consumo diario, y conociendo los valores de irradiación solar promedio de la zona, se puede calcular la potencia que necesitamos obtener de la instalación fotovoltaica.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Horas solares pico}}$$

$$\text{HSP} = \frac{\text{Radiación solar}}{1 \text{ [kW} \cdot \text{h/m}^2\text{]}}$$

La radiación solar considerada tiene que ser la menor posible, para poder dimensionar el generador de tal forma que sea capaz de alimentar a la vivienda durante todos los meses. Es decir, si nuestro sistema es capaz de generar la potencia requerida por la vivienda en enero o diciembre, cuando la irradiación solar es menor, evidentemente será capaz de generar dicha potencia en otros meses más favorables a la generación fotovoltaica como Julio.

$$\text{HSP} = \frac{\text{Radiación solar}}{1 \text{ [kW} \cdot \text{h/m}^2\text{]}} = \frac{1.5 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2}{1 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2} = 1.5 \text{ HSP}$$

La potencia por lo tanto tendrá el siguiente valor:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Horas solares pico}} = \frac{9 \text{ kWh/día}}{1.5 \text{ horas/día}} = 6 \text{ kW}$$



Considerando además que un panel no tiene una eficiencia del 100% sino que suele tener entorno a un 20% de pérdidas hay que volver a calcular la potencia:

$$Potencia\ real = \frac{Potencia}{0.8} = 7.5\ kW$$

La potencia calculada, aunque sea apropiada para abastecer de energía la vivienda durante todo el año, excede la potencia límite a instalar según el CTE. La conclusión es clara, una zona como Cantabria no posee las características climatológicas más apropiadas para llevar a cabo una instalación de estas características. Aunque los datos de irradiación solar entre los meses de mayo a agosto sean adecuados para realizar una instalación de autoconsumo, el resto del año no son óptimos.

A raíz de los datos obtenidos se tiene que plantear otra hipótesis de cálculo. Como abastecer de electricidad a la vivienda durante los meses de invierno es más complicado y genera muchos gastos, los cálculos se tendrán que realizar con un escenario más favorable.

Seleccionando un valor de radiación solar resultado de la media de todos los meses obtenemos los siguientes resultados:

$$HSP = \frac{Radiación\ solar}{1\ [kW \cdot h/m^2]} = \frac{3.78\ kW \cdot h/m^2}{1\ kW \cdot h/m^2} = 3.78\ HSP$$

$$Potencia = \frac{Consumo\ diario}{Horas\ solares\ pico} = \frac{9\ kWh/día}{3.78\ horas/día} = 2.38kW$$

$$Potencia\ real = \frac{Potencia}{0.8} = 2.975\ kW$$

Con esta nueva hipótesis conseguimos resultados dentro del límite legal y parecidos a los que encontramos en las fuentes consultadas. Por lo tanto, la potencia seleccionada para la instalación fotovoltaica será de 3kW.

Para conseguir esta potencia se pueden barajar distintas opciones, en función del número de paneles y la potencia de los mismos. El número de paneles, vendrá condicionado a su vez por el espacio disponible en el tejado. En nuestro caso contamos con 130 m<sup>2</sup> de tejado libre de sombras, por lo que no habrá ningún problema de espacio.

La cubierta cuenta además con una orientación excelente, ya que está orientada en dirección sur-oeste, por lo que puede aprovechar mejor las horas de luz.

Para alcanzar la potencia de 3 kWp se puede optar por la instalación de 8 paneles monocristalinos de 380W como el siguiente:

Tabla 5.6. Ficha técnica del Panel Jäger Plus 132. (Fuente: Risen Energy)

#### ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM132-6-360M	RSM132-6-365M	RSM132-6-370M	RSM132-6-375M	RSM132-6-380M	RSM132-6-385M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	360	365	370	375	380	385
Open Circuit Voltage-Voc(V)	44.00	44.10	44.20	44.30	44.40	44.50
Short Circuit Current-Isc(A)	10.29	10.38	10.48	10.58	10.68	10.78
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	37.20	37.35	37.50	37.65	37.80	37.95
Maximum Power Current-Impp(A)	9.69	9.79	9.88	9.97	10.07	10.16
Module Efficiency (%) ★	19.5	19.8	20.1	20.3	20.6	20.9

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

★ Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

#### Inversor

El primer criterio mencionado es el relativo al dimensionamiento del inversor en función de su potencia.

$$Potencia_{inversor} = \frac{Potencia_{generador}}{1.1} = \frac{3000kW}{1.1} = 2727.3kW$$

A continuación, se llevan a cabo los cálculos relativos al dimensionamiento según el voltaje de la instalación.

$$T_{máx,módulo} = T_{amb} + \frac{TONC - 20}{800} * I = 24.8 + \frac{44 - 20}{800} * 1000 = 54.8^{\circ}C$$

$$T_{min,módulo} = T_{amb} + \frac{TONC - 20}{800} * I = 1.6 + \frac{44 - 20}{800} * 100 = 4.6^{\circ}C$$

Con las temperaturas calculadas, pasamos a definir el voltaje máximo y mínimo:

$$V_{máx} = V_{oc} * \left(1 - \frac{CTP * (T_{min} - 25)}{100}\right) = 40.5 * \left(1 - \frac{0.37 * (4.6 - 25)}{100}\right) = 43.56 V$$



$$V_{min} = V_{MP} * \left(1 - \frac{CTP * (T_{max} - 25)}{100}\right) = 34.1 * \left(1 - \frac{0.37 * (54.8 - 25)}{100}\right) = 30.34 \text{ V}$$

Ahora podremos saber cuál es el número máximo y mínimo de módulos que pueden ser conectados en serie:

$$N_{max} = \frac{V_{max,INV}}{V_{max}} = \frac{980}{43.56} = 22.49 = 22 \text{ módulos}$$

$$N_{min} = \frac{V_{min,INV}}{V_{min}} = \frac{140}{30.34} = 4.61 = 5 \text{ módulos}$$

De esta forma sabemos que todos los paneles podrán que ser conectados en serie. La intensidad de cortocircuito de los paneles es de 8.44 A por lo que la intensidad de cortocircuito del inversor tiene que ser como mínimo de ese valor.

El inversor Sun2000 cumple con las condiciones:

Tabla 5.7. Ficha técnica del inversor Sun2000. (Fuente: Risen Energy)

SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 Technical Specification						
Technical Specification	SUN2000 -3KTL-M1	SUN2000 -4KTL-M1	SUN2000 -5KTL-M1	SUN2000 -6KTL-M1	SUN2000 -8KTL-M1	SUN2000 -10KTL-M1
<b>Efficiency</b>						
Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%
<b>Input (PV)</b>						
Recommended max. PV power <sup>1</sup>	4,500 Wp	6,000 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp	12,000 Wp	15,000 Wp
Max. input voltage <sup>2</sup>	1,100 V					
Operating voltage range <sup>3</sup>	140 V ~ 980 V					
Start-up voltage	200 V					
Rated input voltage	600 V					
Max. input current per MPPT	11 A					
Max. short-circuit current	15 A					
Number of MPP trackers	2					
Max. input number per MPP tracker	1					

## Batería

Para la realización del cálculo del dimensionamiento de la batería solar se tienen que tener en cuenta los parámetros previamente mencionados. Como la batería cumple la función de un sistema de apoyo, se estima que la potencia que necesite suministrar la misma sea de 2000Wh.

Para un sistema de autoconsumo no estacional como es el nuestro, las fuentes consultadas estiman una autonomía necesaria de 4-6 días para el sistema.

Sin embargo, una mayor autonomía impide la entrega de una potencia más elevada. Como nuestra batería tendrá el apoyo del sistema fotovoltaico y de la red, se estimará con una autonomía de 2 días, y así esta podrá suministrar una mayor cantidad de energía.

$$Capacidad_{wh} = \frac{Potencia\ consumida \cdot Autonomía}{PDM \cdot Rendimiento} = \frac{5000 \cdot 2}{0.95 \cdot 0.9} = 11695.9\ Wh$$

Los datos de Profundidad de Descarga Máxima y rendimiento han sido obtenidos del modelo Tower Pro de Ampere Energy.

Este modelo ofrece unas grandes prestaciones energéticas ya que aparte de poder ser combinado con una instalación fotovoltaica y así obtener una gran eficiencia energética, este modelo dispone de dos MPPT (Maximum Power Point Tracker), es decir, dos reguladores que hacen un seguimiento digital de la salida de los paneles solares y la comparan con el voltaje de las baterías.

El sistema Tower Pro facilita la instalación al aumentar la flexibilidad de conexión de los paneles. Estos podrán ser instalados en cualquier tipo de tejados y con espacios más reducidos. Por último, este modelo mejora la potencia a entregar desde la batería, pudiendo compensar consumos más elevados y permitiendo ahorros mayores.

Tabla 5.8. Ficha técnica del módulo de batería. (Fuente: Ampere Energy)

Módulo de Batería	TOWER PRO 12,3 (PV)	TOWER PRO 12,5 (PV)	TOWER M PRO 6,3 (PV)	TOWER M PRO 6,5 (PV)
Capacidad útil (kWh)	12 kWh		6 kWh	
Capacidad útil (Ah)	232 Ah		116 Ah	
Máx. potencia de carga/descarga	3kW			
Máx. profundidad de descarga (DoD)	95%			
Tipo de batería	Li-Ion			
Tensión nominal	51,8V			
Tensión de trabajo	42-58,8V			
Número de ciclos (95% DoD, 25°C / 77°F)	> 6.000			
Vida estimada	> 16 años			

### 5.3 SELECCIÓN DE TARIFA

Teniendo en cuenta los datos expuestos en el apartado 4.6, el consumo energético que se experimenta a lo largo del día en una vivienda se ve reducido gracias a la incorporación de elementos como los generadores fotovoltaicos y las baterías solares. De esta forma se consigue una menor dependencia de la energía suministrada por la red, por lo que podemos aprovechar la energía generada y almacenada en las horas valle y llano para utilizarla cuando estemos en una franja punta.



En la tabla 4.43 se observa como la potencia máxima de carga y descarga de la batería es de 3kW y la capacidad útil es de 12 kWh. Suponiendo que la batería sea cargada durante la noche, esta va a ser la potencia principal que tengamos que tener en cuenta durante las horas valle. Los otros equipos consumiendo electricidad durante la noche serán el frigorífico y los equipos en standby o reposo.

El frigorífico cuenta con una potencia promedio de 350 W y los equipos más significativos en cuanto al gasto de energía en reposo pueden llegar a sumar como mucho 20W de potencia.

Por lo tanto, para el tramo valle nocturno, se podrán contratar 3kW de potencia, de forma que la batería pueda ser cargada sin problema en cuatro horas durante la noche, y sobre potencia suficiente para los equipos de standby o algún electrodoméstico que se utilice en ese período.

Como ya hemos comentado, la mayoría del suministro eléctrico en el período punta va a ser por parte de la batería. Sin embargo, en el dimensionamiento de la misma hemos tenido en cuenta una autonomía de 2 días de trabajo, para un consumo de 5kWh diarios. Dado que el consumo medio de una vivienda se estima en 9kWh diarios, con el aporte de electricidad de los módulos fotovoltaicos prácticamente podemos abastecer de electricidad a la vivienda.

Con una instalación de 3kWp como la calculada y en base a los datos de irradiación solar media del mes más desfavorable (diciembre), que cuenta con 1.5 HSP, podemos obtener 4,5 kWh diarios. Sumando el aporte de la batería y el de los módulos fotovoltaicos obtenemos 9,5 kWh diarios, energía suficiente para alimentar nuestra casa. Por lo tanto, para el periodo de punta se puede contratar una potencia pequeña para asegurar la alimentación de la misma si en algún momento la batería o módulos fotovoltaicos fallaran.

## **5.4 ANALISIS DE AMBAS SOLUCIONES MEDIANTE SOFTWARE**

### **5.4.1 Vivienda tipo**

La primera opción analizada es la casa que cumpla con los parámetros definidos por el CTE. Empezamos rellenando los datos generales de la vivienda. En esta pestaña los datos más significativos son los relativos a la zona climática y a la definición del edificio.

La ventilación del inmueble obtenida es de 44 l/s para la planta principal, ya que cuenta con un dormitorio principal, dos dormitorios adicionales, una cocina/comedor y un baño. Este caudal convertido a ren/h nos da un valor de 0,71 ren/h, un valor superior al que ofrece por defecto el programa.

La demanda diaria de ACS, ya calculada, es de 112 l/día, por lo que podemos rellenar toda la información del apartado de datos generales.

En el apartado de normativa vigente solamente se permiten edificios construidos hasta el año 2013, pero con los complementos instalados se puede obtener la calificación energética de edificios posteriores.

**Datos generales**

Normativa vigente: CTE 2013 ? Año construcción: 2020

Tipo de edificio: Vivienda Individual

Provincia/Ciudad autónoma: Cantabria Localidad: Otro Santa Cruz de Bezana

Zona climática: C1 HE-1 I HE-4

**Definición edificio**

Superficie útil habitable: 94 m<sup>2</sup>

Altura libre de planta: 2.7 m

Número de plantas habitables: 2

Ventilación del inmueble: 0.71 ren/h

Demanda diaria de ACS: 112 l/día

Masa de las particiones internas: Media

☐ Se ha ensayado la estanqueidad del edificio

Imagen edificio Plano situación

Figura 5.10. Datos generales del edificio tipo a analizar. (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, pasamos a rellenar los datos relativos a la envolvente térmica del edificio. Para ello empezamos definiendo las fachadas. Tomando medidas de la vivienda en cuestión se pueden obtener las dimensiones de todas las fachadas y sus respectivas orientaciones, los llamados parámetros característicos del cerramiento se pueden estimar con los valores que proporciona el CTE.

Una vez se han definido las fachadas, se pueden añadir los elementos asociados a esta, como es el caso de los puentes térmicos o los huecos que existan en cada una.

De nuevo, tomando medidas de los huecos existentes en la vivienda se pueden obtener las dimensiones y así introducirlas al programa. El procedimiento con las propiedades térmicas de los huecos es el mismo que con las de la fachada, se tendrán que utilizar los valores establecidos en el CTE respecto a huecos en contacto con el aire exterior.

La definición de los puentes térmicos tiene que ser realizada de forma más cuidadosa ya que en el programa los puentes térmicos se cargan por defecto en todas las fachadas por igual, y puede que se hayan cargado puentes térmicos que no existan en algunas de las fachadas del edificio.

En nuestro caso, el edificio no cuenta con pilares integrados en fachada, todos ellos son pilares en esquina. Tampoco existen en esta vivienda encuentros de fachada con suelo en contacto con el aire ni encuentros de fachada con solera en la parte habitable.

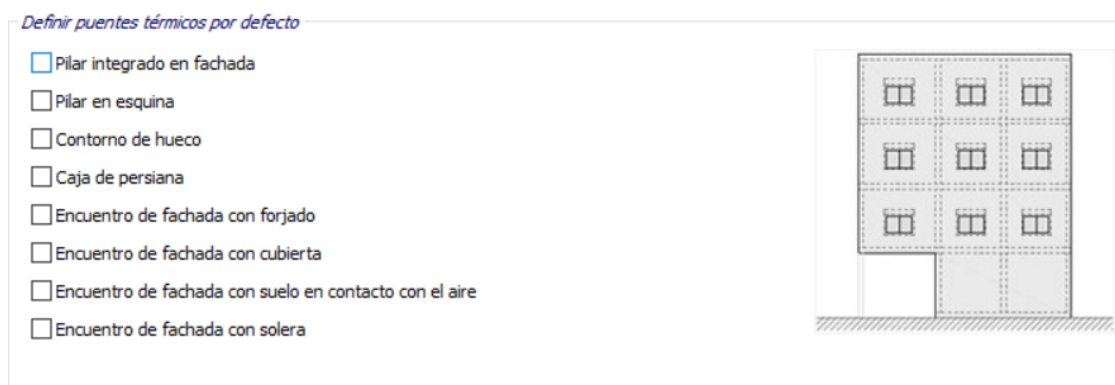


Figura 5.11. Puentes térmicos disponibles en el programa. (Fuente: CE3X)

Para obtener los valores apropiados de los puentes térmicos se tiene que acudir al Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía, DA DB-HE / 3 [39]. En este se llevan a cabo definiciones de los puentes térmicos, métodos de cálculo de los mismos, y un atlas de puentes térmicos que recoge los valores habituales de los mismos para distintos casos de aislamiento de la vivienda.

Por último, faltan de definir las instalaciones del edificio. Como ni el CTE ni el RITE proporcionan una definición de qué elementos tiene que disponer de una casa, en este caso se suponen un equipo de ACS y un equipo de calefacción estándar.

Para el abastecimiento de ACS se supone una caldera de Gas Natural, muy presente en nuestro país en la mayoría de viviendas, con un rendimiento medio estacional del 72%. Para el equipo de calefacción se supone una bomba de calor eléctrica con un rendimiento medio estacional del 133%.

Con toda la información introducida dentro del programa la calificación obtenida es la siguiente:

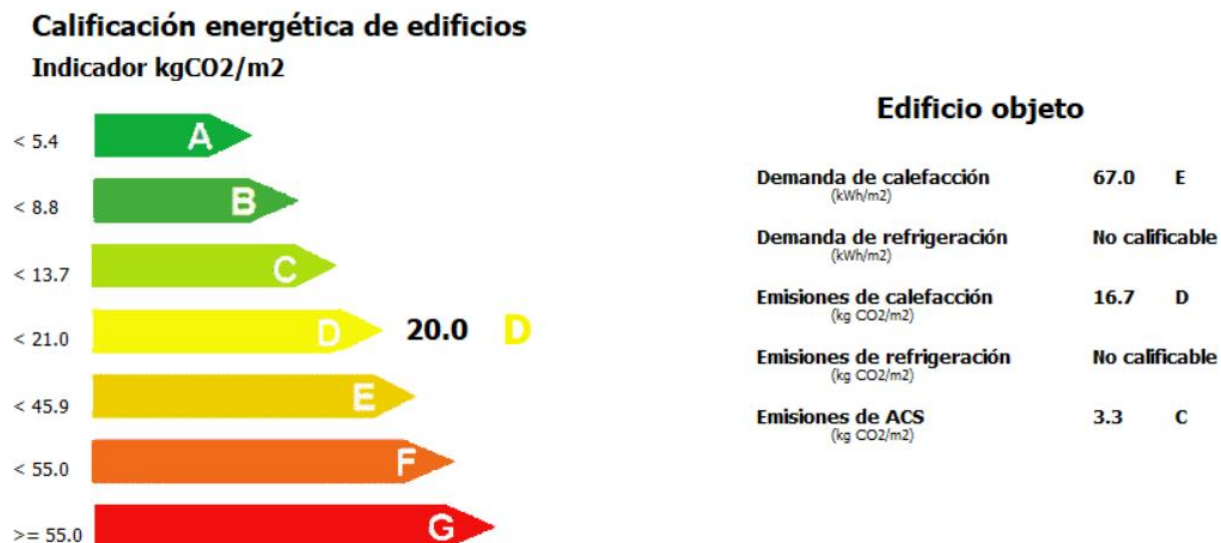


Figura 5.12. Calificación energética de la vivienda tipo obtenida.

Dada la zona climática C1, el programa no cuenta con información para calcular la demanda y emisiones de refrigeración.

#### 5.4.2 Vivienda eficiente

Para finalizar se introducirán los datos recogidos en el documento para la realización de la vivienda más eficiente. El procedimiento va a ser muy parecido en ambos casos ya que la vivienda es la misma en lo que respecta a los datos generales y datos administrativos.

El primer cambio que se va a implementar son las fachadas. La ficha técnica del sistema Thermochip SATE WALL nos aporta la información necesaria para poder definir las propiedades térmicas de la vivienda de forma completa, dando su valor de transmitancia térmica y masa por metro cuadrado. El siguiente paso es realizar el mismo procedimiento para la cubierta y suelo del edificio, utilizando la ficha técnica correspondiente del sistema Thermochip Housing.

El siguiente elemento que hay que modificar son las ventanas, de nuevo utilizando la ficha técnica del sistema seleccionado se pueden obtener los valores necesarios para rellenar estos campos en el programa.

Lo último que tendremos que completar son las instalaciones presentes en el edificio. En este caso, esta parte varía mucho respecto al otro caso, ya que tenemos unas contribuciones energéticas muy importantes. Para empezar, contamos con un sistema que permite obtener un 100% de ACS de forma renovable, y en caso de que no obtenga radiación solar suficiente posee una resistencia que permite calentar el agua hasta la temperatura deseada.

Además, la vivienda cuenta con una instalación fotovoltaica que es capaz de generar aproximadamente 3500 kWh anuales, mas un sistema de almacenamiento que acumula energía durante la noche o mediante la energía obtenida por los paneles.

En cuanto a las instalaciones, la vivienda cuenta con una bomba de calor eléctrica que se encarga de la calefacción y refrigeración y el sistema de obtención de ACS mencionado.

Con todo esto, el resultado del análisis de la eficiencia del edificio es el siguiente:

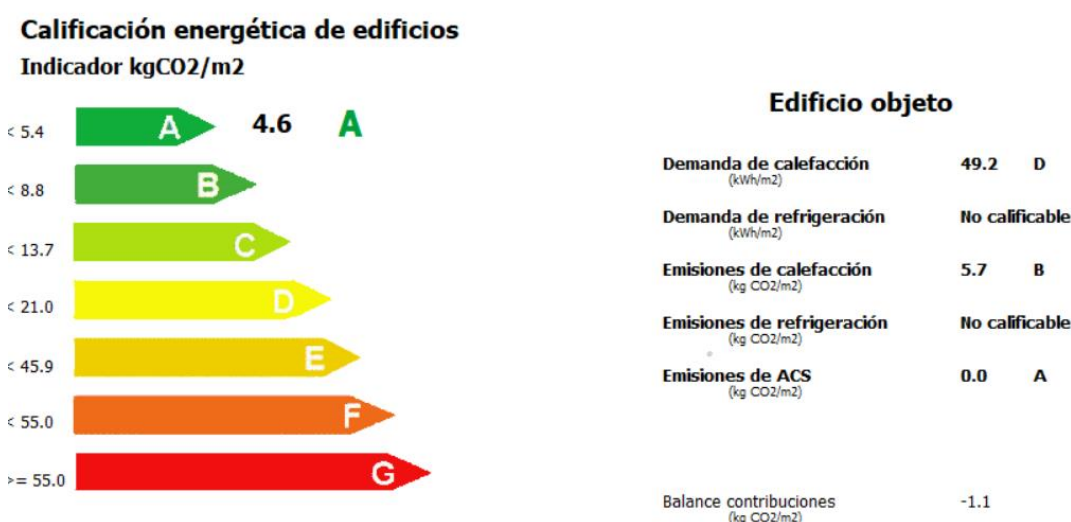


Figura 5.13. Calificación energética de la vivienda eficiente obtenida.

## 5.5 ANALISIS ECONÓMICO

La aplicación de todas las medidas necesarias para la obtención de una mejor eficiencia energética supone un alto desembolso inicial, aunque mediante esta mejora se conseguirá reducir el consumo energético de la vivienda, y por lo tanto alcanzar un mayor ahorro económico.

La inversión dedicada a cada elemento dependerá de muchos factores como sus materiales, eficiencia, instalación o la mano de obra.

Para el cálculo del TIR y VAN se supondrá que la inversión inicial es cubierta en el primer año, y los flujos de caja se empiezan a contar desde ese momento. Además, la tasa de descuento exigida a la inversión será del 3% anual.

### 5.5.1 Aislamiento térmico

El aislamiento del edificio va a ser cambiado por completo, incluyendo cubierta, fachadas y suelos. Los tres elementos han sido calculados a la vez ya que forman parte de un mismo elemento, la envolvente térmica.



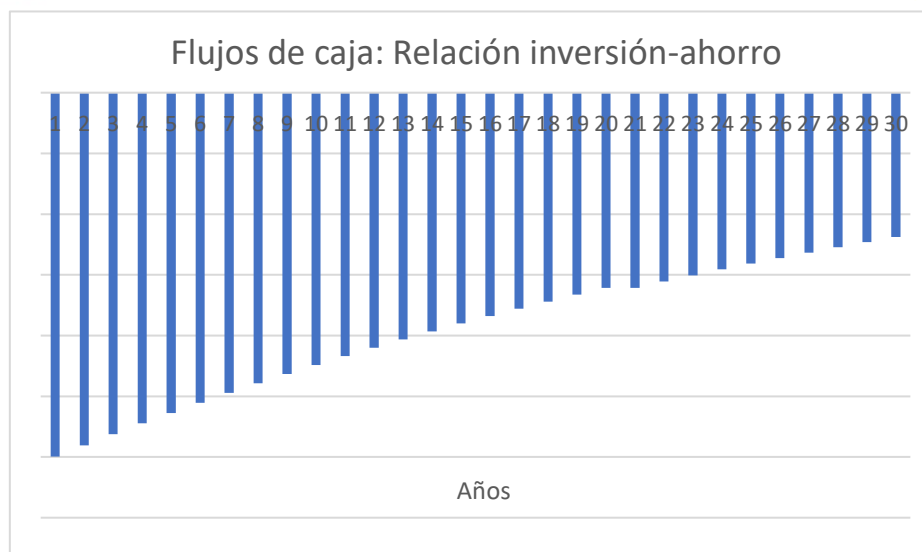


Figura 5.14. Relación inversión-ahorro en la instalación de aislamiento térmico.

A pesar de que dicha envolvente cumple con el Código Técnico de la Edificación y que ha conseguido reducir la demanda de energía final, concretamente la demanda de calefacción, no es una medida rentable económicamente. En este caso la inversión inicial supone un gasto mayor que el ahorro conseguido en un plazo igual a 30 años.

### 5.5.2 Instalación fotovoltaica

En cuanto a la instalación fotovoltaica, se llevará a cabo un primer análisis de inversión teniendo en cuenta únicamente los módulos fotovoltaicos y el inversor.

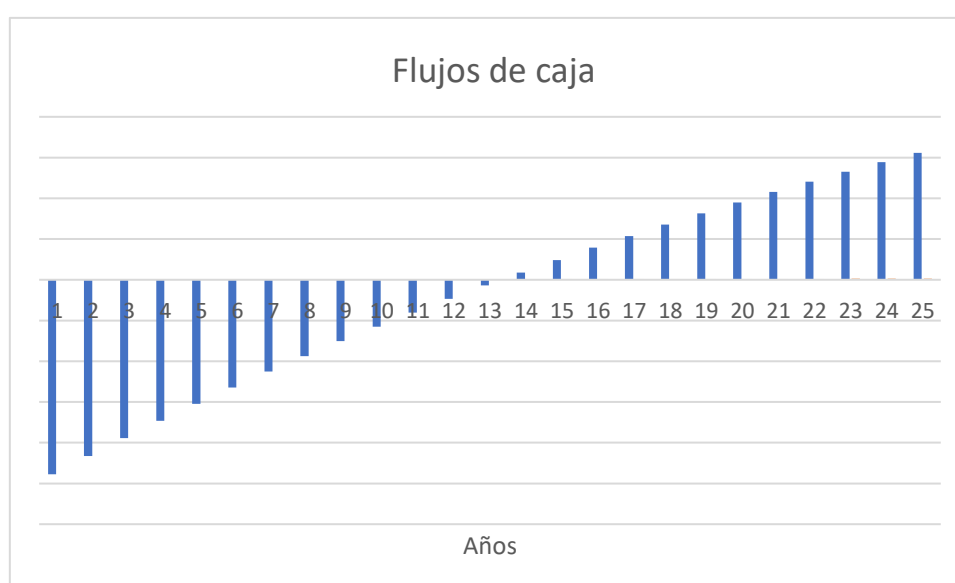


Figura 5.15. Relación inversión-ahorro en la instalación fotovoltaica.

Como se puede apreciar en la figura 5.15, en este caso nos encontramos con una medida de mejora de la eficiencia rentable económicamente, ya que a lo largo del tiempo se alcanza un ahorro considerable. El período de amortización, entorno a los 13 años, cae dentro de los valores esperados para una instalación fotovoltaica estándar. Además, el valor del TIR, con un 8%, supera el valor estimado de  $k$ , indicando de nuevo la rentabilidad de la propuesta.

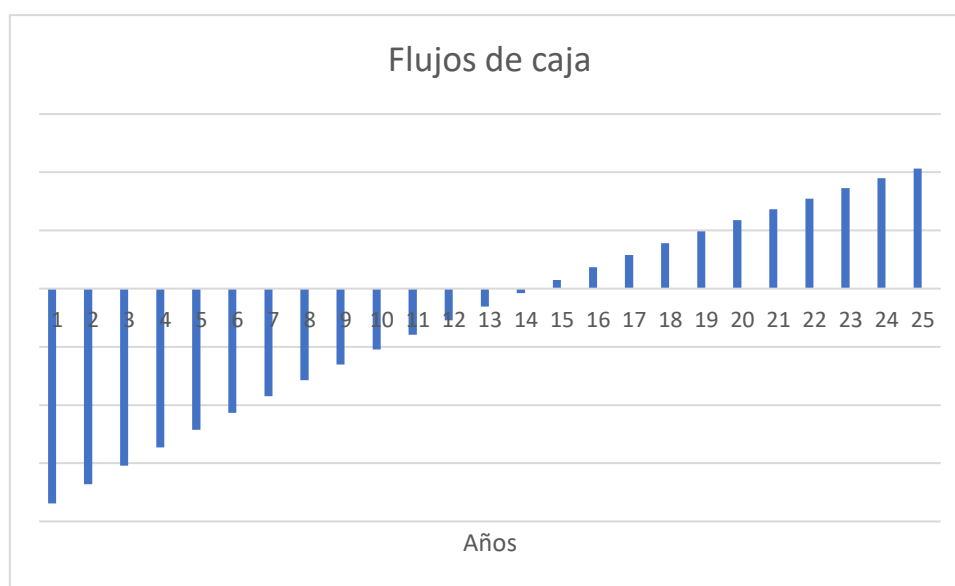


Figura 5.16. Relación inversión-ahorro en la instalación fotovoltaica con batería.

En la figura 5.16 se exponen los flujos de caja para el segundo supuesto de cálculo de rentabilidad, en el que se añade el dispositivo de almacenamiento. En este caso la inversión inicial es considerablemente más alta, sin embargo, también se consigue obtener rentabilidad de esta opción ya que la factura eléctrica disminuye casi por completo. De nuevo el valor de TIR en este caso supera el del valor  $k$ , alcanzando el 7%.

Es importante destacar la importancia de las distintas ayudas y bonificaciones disponibles para la instalación de energía solar fotovoltaica. En este caso se cuenta con dos tipos de bonificaciones, el 25% de descuento del IBI concedido por el ayuntamiento de Santa Cruz de Bezana y el 40% de descuento con la subvención del Plan de Recuperación para Europa “Next Generation EU”.

### 5.5.3 Instalación de climatización y calefacción

En este caso se van a tomar dos casos diferentes, la instalación de aerotermia con suelo radiante, y la instalación de aerotermia con radiadores. La diferencia principal es la inversión a realizar en cada caso.

En el caso de optar por la instalación de suelo radiante, hay que tener en cuenta el coste de instalar en la vivienda el mismo, ya que no se dispone de los elementos necesarios. Para el cálculo de la rentabilidad del sistema con radiadores esto no se tendrá que tener en cuenta ya que la vivienda cuenta con una instalación existente de radiadores.

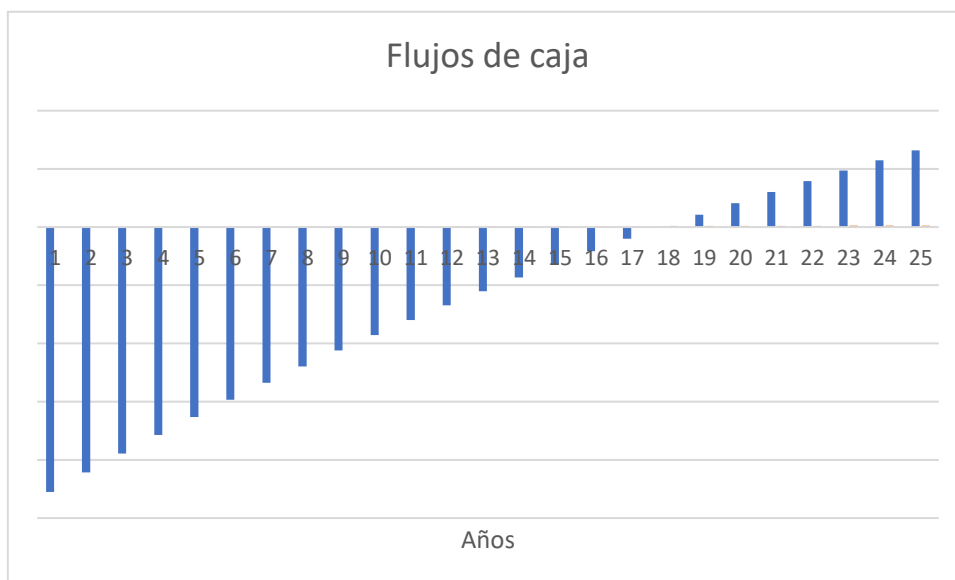


Figura 5.17. Relación inversión-ahorro en la instalación de climatización/calefacción con radiadores.

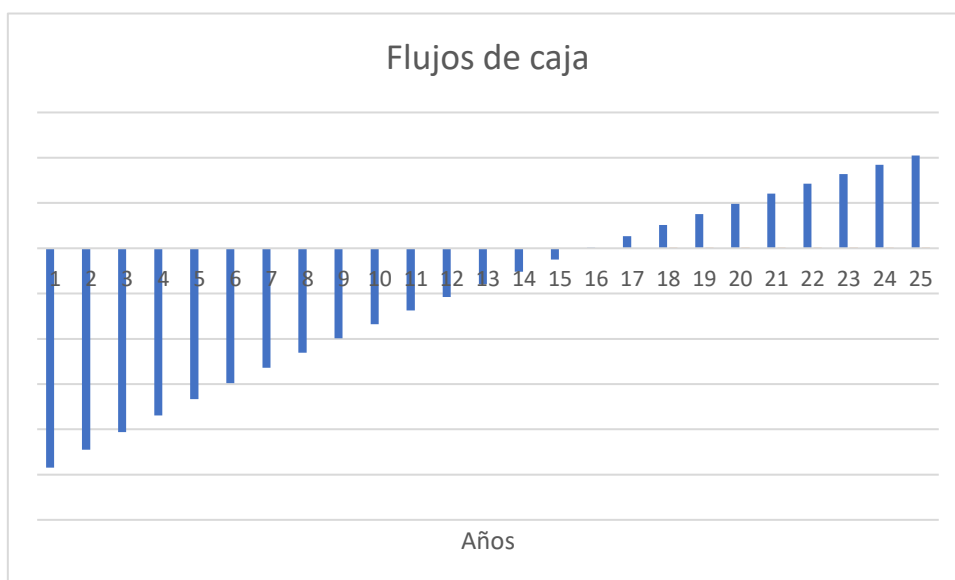


Figura 5.18. Relación inversión-ahorro en la instalación de climatización/calefacción con suelo radiante.



En este caso las diferencias existentes entre la instalación de aerotermia con radiadores de baja temperatura o suelo radiante no es tan significativa. Mientras que con la instalación de suelo radiante, obtenemos más beneficios con el paso del tiempo, tenemos que llevar a cabo una inversión inicial mayor.

Con la instalación de radiadores vamos a tener un ahorro menor, pero también tendremos que enfrentarnos a una menor inversión inicial.

Ambas opciones resultan rentables ya que generan beneficios en un período comprendido entre los 15-20 años, llegando a poder conseguir un ahorro equivalente al precio de compra original en un plazo de 25 años aproximadamente. El TIR obtenido con cada mejora ha sido del 5% y 7% para la aerotermia y aerotermia con suelo radiante respectivamente.



## 6. CONCLUSIONES

Una vez llevado a cabo el objetivo principal del trabajo, la comparación entre las dos viviendas, y el posterior análisis de los resultados obtenidos, podemos confirmar lo siguiente:

Siguiendo de forma estricta los diferentes reglamentos (CTE y RITE) orientados a la mejora de la eficiencia energética en el hogar y la búsqueda de un mayor ahorro energético, se ha obtenido una calificación energética D. Esta calificación sitúa a la vivienda en una posición superior a la media nacional, la cual es de E y se utiliza como valor de referencia.

Aplicando una serie de medidas de mejora sobre esa vivienda, utilizando un caso ficticio con presupuesto infinito, se ha conseguido mejorar la eficiencia de dicha vivienda al máximo posible (A). Para llevar a cabo esta mejora se han implantado distintas mejoras, de las cuales alguna ha resultado inapropiada por su elevada inversión.

Esto es el caso de la envolvente térmica, que afecta directamente a la demanda de calefacción. El sistema seleccionado para su aplicación en la envolvente del edificio resulta demasiado costoso para su utilización en la vivienda a pesar de sus excelentes características técnicas.

Otro aspecto a remarcar en relación con la demanda de calefacción es el valor obtenido para la vivienda tipo Passivhaus. La demanda de calefacción obtenida en el programa es relativamente más alta que la demanda real de este tipo de viviendas. Esto tiene su origen en el diseño de la casa tipo.

Cuando se diseña una vivienda Passivhaus se tienen en cuenta muchos aspectos constructivos como orientación, dispositivos de sombreado o disposición de los huecos, en este caso al contar con una vivienda ya existente, estos elementos ya están definidos. Por lo tanto, hay ciertos elementos que podemos mejorar, como la envolvente o los puentes térmicos, pero siguen existiendo ciertos factores que limitan la eficiencia energética de la casa y sobre los cuales no podemos actuar.

Por otro lado, hay muchos aspectos en los que podemos actuar para mejorar la eficiencia de nuestra vivienda que son mencionados en el trabajo, como iluminación o electrodomésticos, pero no se recogen como medidas obligatorias en los documentos oficiales. Por lo general una inversión en estos dos aspectos supone un ahorro considerable a corto plazo, suponiendo una de las medidas más fáciles, rápidas y económicas para mejorar la eficiencia de la vivienda.

Para mejorar la eficiencia y el ahorro de la vivienda se tendrán que llevar a cabo inversiones más elevadas, con las que conseguiremos un mayor ahorro, aunque en un mayor plazo de tiempo.

Queda por lo tanto un margen entre la solución más básica (la que cumpla con la normativa) y la más eficiente en la que se encontrarán las soluciones más apropiadas para cada caso en relación a su coste/rentabilidad.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. La Energía en España. *Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado* [online]. 2018. P. 290. Available from: <https://cpage.mpr.gob.es>
2. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). *Consumos del Sector Residencial en España* [online]. 2011. [Accessed 25 October 2021]. Available from: [http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros documentos/Factores\\_emision\\_CO2.pdf%0Ahttp://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Tarifas\\_Reguladas\\_ene\\_2016\\_a197c904.pdf](http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros documentos/Factores_emision_CO2.pdf%0Ahttp://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Tarifas_Reguladas_ene_2016_a197c904.pdf) Consumos del Sector Residencial en España. Resumen de Información Básica. 2010-2011.
3. PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA EL RETO DEMOGRÁFICO, Ministerio. Borrador Actualizado del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. 2021.
4. PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA EL RETO DEMOGRÁFICO, Ministerio. Aislamiento térmico para casas: paredes, techos,.. | [guiaenergia.idae.es](http://guiaenergia.idae.es). [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <http://guiaenergia.idae.es/aislamiento/>
5. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). *Guías IDAE Soluciones de Acristalamiento y Cerramiento Acristalado*. [no date].
6. CASTRO ALONSO, Pablo. *Renewable and Alternative Energies*. Universidad de Cantabria. 2020.
7. PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA EL RETO DEMOGRÁFICO, Ministerio. *Á R E A E F I C I E N C I A Y A H O R R O E N E R G É T I C O*. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: [www.idae.es](http://www.idae.es)
8. MINISTERIO DE FOMENTO (ESPAÑA). Documento Básico HE Ahorro de Energía 2019. *Código Técnico de la Edificación* [online]. 2019. P. 1–129. Available from: <http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2016-2/DBHE.pdf>
9. TORROJA/CSIC, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo. DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 11 de diciembre de 2018
10. ESPAÑA. REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *Boletín oficial del estado* [online]. 2007. P. 35931–35984. Available from: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf> REAL
11. REGLAMENTO (UE) 2015/ 1188 DE LA COMISIÓN - de 28 de abril de 2015
12. Energy efficient products | European Commission. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: [https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products\\_en](https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products_en)
13. Disposiciones generales MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA 7536.
14. Plataforma PEP - Plataforma de Edificación Passivhaus. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://www.plataforma-pep.org/>



15. Passivhaus Institut. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://passivehouse.com/>
16. Thermal insulation [ ]. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: [https://passipedia.org/planning/thermal\\_protection/integrated\\_thermal\\_protection](https://passipedia.org/planning/thermal_protection/integrated_thermal_protection)
17. THERMOCHIP HOUSING - Un panel sandwich para cada necesidad. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://www.thermochip.com/>
18. CASTRO ALONSO, Pablo. *Renewable and Alternative Energies*. Universidad de Cantabria. 2020.
19. GOBIERNO DE ESPAÑA. Código Técnico de la Edificación. Catálogo de elementos constructivos del CTE. *Código técnico de la edificación CTE* [online]. 2010. Vol. 3, p. 141. Available from: <https://www.codigotecnico.org/index.htm>
20. OLIVER-RAMÍREZ, A. Pcm Integration in Gypsum Boards Reinforced With Polypropylene Fibers. (*PhD-Tesis*). 2009. P. 386.
21. NETO, Rui Costa. Micronal® PCM Intelligent Temperature Management for Buildings A broader base for your success. .
22. Micronal. [online]. [Accessed 26 October 2021]. Available from: <https://www.microteklabs.com/micronal>
22. Technology – BioPCM – Phase Change Solutions. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://phasechange.com/biopcm/>
24. Windows [ ]. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: [https://passipedia.org/planning/thermal\\_protection/windows](https://passipedia.org/planning/thermal_protection/windows)
25. KÖMMERLING76 AD Xtrem | KÖMMERLING. [online]. [Accessed 26 October 2021]. Available from: <https://www.kommerling.es/ventanas-pvc/kommerling76-ad-xtrem>
26. What defines thermal bridge free design? [ ]. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: [https://passipedia.org/basics/building\\_physics\\_-\\_basics/what\\_defines\\_thermal\\_bridge\\_free\\_design](https://passipedia.org/basics/building_physics_-_basics/what_defines_thermal_bridge_free_design)
27. Unidades combinadas de bomba de calor - Pichler - systematic ventilation. [online]. [Accessed 26 October 2021]. Available from: <http://www.pichlerluft.de/heat-pump-combination-unit-es.html>
28. Compact P GEO3 Multi-unit enables energy efficiency and thereby an overall saving in energy consumption. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://www.en.nilan.dk/products/ventilation-with-heating/ventilation-hot-water-production-and-heating/compact-p-geo3>
29. Colectores solares térmicos | OCU. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/energia-renovable/informe/colectores-termicos>
30. Manual Práctico Energía Fotovoltaica de una instalación a pequeña escala. LEONARDO ENERGY - PDF Descargar libre. [online]. [Accessed 13 September 2021]. Available from: <https://docplayer.es/29791817-Manual-practico-energia-fotovoltaica-de-una-instalacion-a-pequena-escala-leonardo-energy.html>
31. Ampere Energy. [online]. [Accessed 26 October 2021]. Available from: <https://ampere-energy.com/es/smartworld>





32. NÚM. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. [online]. [Accessed 26 October 2021]. Available from: <http://www.boe.es> Sábado 6 de abril de 2019
33. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE3X. . 2012. Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE 3 X
34. Tasa interna de retorno (TIR) | 2021 | Economipedia. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
35. Valor actual neto (VAN) - Qué es, definición y significado | 2021 | Economipedia. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
36. Qué es el factor de simultaneidad y cómo calcularlo | Endesa. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/factor-simultaneidad-calculo>
37. ¿Qué Potencia Contratar? Calcular kW Mínimos Recomendados. [online]. [Accessed 25 October 2021]. Available from: <https://tarifasgasluz.com/faq/potencia-contratada>
38. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA (IDAE). *Guía para convertirse en autoconsumidor en 5 pasos*. 2012
39. MINISTERIO DE FOMENTO (ESPAÑA). Documento de Apoyo al Documento Básico HE Ahorro de Energía, Puentes Térmicos. 2014. *Código Técnico de la Edificación* [online]. 2019.P. 1–129. Available from [https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA-DB-HE-3\\_Puentes\\_termicos.pdf](https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA-DB-HE-3_Puentes_termicos.pdf)